



TUGAS AKHIR- TL141584

PENGARUH pH AIR HUJAN DAN BEBAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI PADA BAJA GALVALUM

ANISSA FEBRI DWI YANTI

NRP. 2711 100 066

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Tubagus N. Rohmanudin, ST.,M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

FakultasTeknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT- TL141584

THE EFFECT BETWEEN RAIN WATER, pH AND LOAD TO CORROSION CHARECTERISTICS OF GALVALUME STEEL

ANISSA FEBRI DWI YANTI

NRP. 2711 100 066

Advisor

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.
Tubagus N. Rohmanudin, ST.,M.Sc.

DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
SepuluhNopember Institute of Technology
Surabaya 2016

PENGARUH pH AIR HUJAN DAN BEBAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI PADA BAJA GALVALUM

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi Pada
Bidang Studi Korosi Dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh

ANISSA FEBRI DWI YANTI

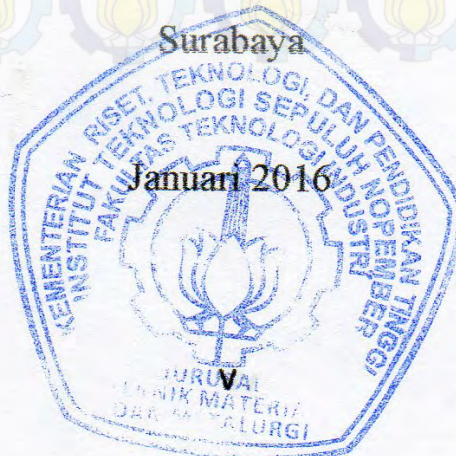
NRP 2711 100 066

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.....(Pembimbing 1)
2. Tubagus Noor R, ST.,M.Sc.....(Pembimbing 2)

Surabaya

Januari 2016



PENGARUH pH AIR HUJAN DAN BEBAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI PADA BAJA GALVALUM

Nama Mahasiswa : Anissa Febri Dwi Yanti
NRP : 2711 100 066
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Abstrak

Baja galvalum memiliki sejarah sebagai rangka atap pada konstruksi bangunan yang efektif dan ekonomis. Baja galvalum terdiri dari lapisan tipis seng dan aluminium yang menyatu pada substrat baja. Kombinasi ini menjadikan material yang memiliki sifat mekanik bajadengan ketahanan korosi dari seng dan aluminium. Untuk komposisi Galvalum pada umumnya terdiri dari unsur coatingnya 55% Aluminium, 43.5% Seng dan 1.5% Silikon. Lapisan galvanis memiliki kinerja yang telah terbukti dalam berbagai kondisi lingkungan namun ketahanan korosi seng pelapis ditentukan oleh ketebalan lapisan yang bervariasi dengan kondisi lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa karakteristik korosi pada baja galvalum dengan lingkungan air hujan dan pembebanan. Penelitian ini menggunakan metode weight loss air hujan dengan pH 5.6 dan 7.5 diberi variasi beban 5,10,15 % Beban Yield yang diperoleh dari hasil pengujian tarik dan direndam selama 10, 20, 30 hari dengan pH dijaga konstan. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa baja galvalum dengan air hujan pH 5.6 dengan penambahan beban memberikan nilai laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan air hujan pH 7.5 dan pengaruh beban terhadap laju korosi berpengaruh, semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula laju korosi yang dihasilkan hal ini dapat dibuktikan pada pengujian immerse dengan Air Hujan pH 5.6 pada 10 hari pertama dengan beban 5%

menunjukkan nilai laju korosi sebesar 10.514 Mpy, beban 10% sebesar 11.379 Mpy dan beban 15% sebesar 13.775 Mpy. Dan pada 10 hari pertama dan untuk pengujian immerse dengan Air Hujan pH 7.5 dan beban 5% sebesar 13.376 Mpy, beban 10% sebesar 15.173 Mpy dan pada beban 15% sebesar 15.173 Mpy. Hasil pengujian SEM dan EDAX terlihat 2 area yang merupakan area terang indikasi unsur aluminium dan area gelap indikasi unsur seng. Selanjutnya dari pengujian XRD didapatkan senyawa produk korosi yang terbentuk yaitu Al_2O_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}_0.333\text{Cl}_{0.333}\text{H}_{3.334}\text{O}_{2.667}\text{Zn}_{0.667}$

Kata Kunci: Baja Galvalum, Zn55Al, Laju Korosi, Air Hujan pH 5.6 dan 7.5.

THE EFFECT BETWEEN RAIN WATER, pH AND LOAD TO CORROSION CHARACTERISTICS OF GALVALUME STEEL

Nama Mahasiswa : Anissa Febri Dwi Yanti
NRP : 2711 100 066
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

Abstrak

Galvalume steel has a history as roof truss construction of effective and economical buildings. Galvalume steel consists of thin layers of zinc and aluminium which layered on the steel substrate. This combination makes the material that has the mechanical properties of steel improved and also corrosion resistance from the zinc and aluminium. For galvalume material normally composed of coating unsure 55% aluminium, 43,5% zinc and 1,5% silicone. Galvanis coating is proven to has the good performance under various environmental conditions but corrosion resistance of the zinc layer depends on the thickness of the layer but varies with environmental conditions. This research was conducted to learn about the corrosion characteristic of galvalume steel due to the acidity of rainwater with the pH of 5.6 and 7.5 which was loaded with variety of load 5, 10, 15% from yield load that was obtained from the tensile test and soaked for 10, 20, 30 days with constant pH. The result of this test shows that galvalume steel with the pH 5.6 and the addition of load has the lower corrosion rate compare to the other material that use the rainwater with pH 7.5. Load will also affect the corrosion rate, the bigger load was given, the bigger corrosion rate is produced. It was proven in the first 10 days with a load of 5% shows the value of the corrosion rate of 10.514 Mpy, load of 10% is 11.379 Mpy and load 15% of 13.775 Mpy. And in the first 10 days and for testing Immerse with rain water pH 7.5 and 5% load of

13.376Mpy, load of 10% is 15 173Mpy and the load of 15% amounting to 15 173Mpy. The result of SEM and EDAX test show 2 areas, those are bright area indicated the aluminium unsure and dark area indicated the zinc unsure. Corrosion test shows that the compound obtained XRD testing produced from the corrosion process was $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Zn}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Al}_{0.333}\text{Cl}_{0.333}\text{H}_{3.334}\text{O}_{2.667}\text{Zn}_{0.667}$.

Keywords: Steel Galvalume, Zn55Al, Corrosion rate, Rainwater pH 5.6 and 7.5

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Hirobbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

“Pengaruh Ph Air Hujan Dan Beban Terhadap Karakteristik Korosi Pada Baja Galvalum”

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Orang tua dan kakak penulis, Bapak Gatot Rusliwandi dan ibu Nani Rivani serta Ilham Gumilar yang selalu mendukung penulis, memberikan nasihat serta doa.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan.
3. Bapak Tubagus Noor Rochmanuddin, ST., M.Sc. selaku Dosen Wali penulis pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Mbak Soraya, Mas Paus Bapak Dr.rer.nat.Fredy Kurniawan, M.Si. sebagai dosen pada Jurusan Kimia FMIPA-ITS yang telah memberikan bimbingan selama melakukan penelitian di jurusan kimia.
6. Bapak Budiono sebagai karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan bimbingan selama melakukan penelitian di jurusan mesin.

7. Adianto Hibatullah yang selalu membantu dan memberi semangat penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
8. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Teman-teman MT 13 yang selalu membantu penulis dengan baik.
10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Januari 2015
Penulis,

Anissa Febri Dwi Yanti

DAFTAR ISI

Abstrak.....	vii
Abstrak.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pengertian Korosi.....	3
2.1.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi	3
2.1.2 Faktor Lingkungan	4
2.2 Metode Pencegahan Korosi	7
2.3 Metal Coating.....	9
2.4 Baja Galvalum.....	10
2.4.1 Aplikasi Baja Galvalum.....	11
2.4.2 Sifat Mekanik Aluminium dan Seng.....	12
2.4.3 Beban.....	12
2.4.4 Tegangan Lentur.....	13
2.5 Korosi pada baja galvalum	18

2.5.1 Jenis-Jenis Korosi	18
2.6 Weight Loss Method	21
2.7 Penelitian Sebelumnya	23
BAB III	27
METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Metode Penelitian	28
3.3 Peralatan dan Bahan	28
3.3.1 Peralatan Penelitian	28
3.3.2 Bahan Penelitian	29
3.4 Prosedur Penelitian	29
3.5 Preparasi Spesimen Weight Loss Immerse	30
3.6 Preparasi Elektrolite	31
3.7 Preparasi Chamber Weight Loss Immerse	32
3.8 Preparasi Spesimen Tarik	32
3.9 Pengujian Tarik	33
3.10 Pengujian Weight Loss Immerse	34
3.11 Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD)	37
3.12 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)	38
BAB IV	41
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil Penelitian	41
4.1.1 Hasil Pengujian Tarik	41
4.1.2 Hasil Pengujian Weight Loss Immerse pH 5.6	43
4.1.3 Hasil Pengujian Weight Loss Immerse pH 7.5	45
4.1.5 Hasil Pengujian Analisa Difraksi Sinar – X (XRD) ...	46

4.1.6 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)	48
4.1.7 Hasil Pengamatan Visual	54
4.2 Pembahasan	56
BAB V	59
KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	xxi
(Halaman ini sengaja dikosongkan)	xxi
LAMPIRAN	xxii
1.1 Lampiran A	xxii
1.2 Lampiran B	xxvi
1.3 LampiranC	ix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi (<i>Jones, 1992</i>)	7
Gambar 2. 2 Lapisan Metal Coating	10
Gambar 2. 3 Tegangan Bending Pada Balok Lurus	14
Gambar 2. 4 Kurva Defleksi Pada Balok	15
Gambar 2. 5 Momen Gaya Pada Balok	15
Gambar 2. 6 Diagram Pourbaix Zn dan Al (Cambridge 2012)	21
Gambar 2. 7 menunjukkan backscatter electron images (40µm x 40µm) dari sebelum perlakuan lapisan galvalum pada baja (a) kemiripan elemen mapping of aluminium(b), zinc(c), Si(d)	24
Gambar 2. 8 menunjukkan hasil SEM dari produk korosi terutama dalam area interdendritik dari galvalum yang terekspose selama 12minggu(a), 1minggu(b) dan 5minggu(c).	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 2 Spesimen <i>Weight Loss Immerse</i>	31
Gambar 3. 3 Spesimen Dengan Bebas	31
Gambar 3. 4 Air Hujan	32
Gambar 3. 5 Standar Spesimen Tarik	33
Gambar 3. 6 Peralatan Pengujian Tarik	34
Gambar 3. 7 Rangkaian Pengujian <i>Weight Loss Immerse</i>	35
Gambar 3. 8 Mesin XRD pan Analytical	37
Gambar 3. 9 Mesin SEM INSPECT S50	38
Gambar 4. 1 Diagram Tegangan-Regangan Pengujian Tarik Spesimen Baja Galvalum (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2	41
Gambar 4. 2 Pengaruh Beban dan Waktu Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam <i>Immerse</i> Air Hujan <i>pH</i> 5.6	44
Gambar 4. 3 Pengaruh Beban dan Waktu Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam <i>Immerse</i> Air Hujan <i>pH</i> 7.5	45
Gambar 4. 4 Hasil XRD Baja Galvalum	47
Gambar 4. 5 Hasil Uji SEM Baja Galvalum (a) Kondisi Awal Tanpa Pengujian <i>Weight Loss</i> Perbesaran 150x; (b) Perbesaran 1000x; (c) Perbesaran 3000x	48

Gambar 4. 6 Hasil Uji SEM Baja Galvalum Air Hujan <i>pH</i> 5.6 (a) Kondisi Setelah Pengujian <i>Weight Loss</i> Perbesaran 150x; (b) Perbesaran 1000x. (c) Perbesaran 2000x.	49
Gambar 4. 7 Hasil Uji SEM Baja Galvalum Air Hujan <i>pH</i> 7.5(a) Kondisi Setelah Pengujian <i>Weight Loss</i> Perbesaran 1000x; (b) Perbesaran 2000x. (c) Perbesaran 3000x.	50
Gambar 4. 8. (a) Hasil Pengujian SEM-EDAX untuk Baja galvalum <i>pH</i> 5.6 Perbesaran 1000x (b) Perbesaran 5000x	52
Gambar 4. 9(c) Hasil Pengujian SEM-EDAX untuk baja galvalum <i>pH</i> 7.5 Perbesaran 1000x (d) Perbesaran 5000x	53
Gambar 4. 10 Foto Makro Baja Galvalum. Dari Kiri ke Kanan Spesimen yang diberi Air Hujan dengan <i>pH</i> 5.6 dan 7.5 selama 30 Hari dengan Beban 5.5 kgf, 11 kgf, 16.5 kgf.	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Uji Komposisi Air Hujan.....	5
Tabel 2. 2 Komposisi Lapisan Baja Galvalum (Elsner, 2011)	10
Tabel 2. 3 Komposisi Baja Paduan dalam Galvalum (Shuan Liu, 2013).....	11
Tabel 2. 4 Nilai Penampang Melintang (R.S. Khurmi, 2005).....	17
Tabel 2. 5 Konstanta Laju Korosi (ASTM G31-04)	22
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Lapisan Baja Galvalum pada Spesimen (Elsner, 2011).....	29
Tabel 3. 2 Diameter Spesimen Tarik menurut Standar ASTM E8M	33
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan Pengujian <i>Weight Loss Immerse</i> Air Hujan <i>ph</i> 5.6.....	36
Tabel 3.4 Rancangan Percobaan Pengujian <i>Weight Loss Immerse</i> Air Hujan <i>ph</i> 7.5.....	36
Tabel 3. 5 Rancangan Percobaan Pengujian secara keseluruhan	39
Tabel 4. 1 Nilai Tegangan Luluh Baja Galvalum	42
Tabel 4. 2 Nilai beban untuk pengujian immerse pada baja galvalum.....	43
Tabel 4. 3 Komposisi unsur penyusun Baja galvalum <i>pH</i> 5.6	51
Tabel 4. 4 Komposisi unsur penyusun Baja galvalum <i>pH</i> 5.6	52
Tabel 4. 5 Komposisi unsur penyusun Baja galvalum <i>pH</i> 7.5	54



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja galvalum memiliki sejarah sebagai rangka atap konstruksi yang efektif dan ekonomis. Baja galvalum terdiri dari lapisan tipis seng dan aluminium yang menyatu pada substrat baja. Kombinasi ini menjadikan material yang memiliki sifat mekanik baja dan juga dengan ketahanan korosi dari seng dan aluminium. Lapisan galvanis memiliki kinerja yang telah terbukti dalam berbagai kondisi lingkungan. Ketahanan korosi seng pelapis ditentukan oleh ketebalan lapisan tetapi bervariasi dengan kondisi lingkungan. Prediksi umur lapisan tersebut penting untuk perencanaan dan pembiayaan yang diperlukan dalam pemeliharaan (AGA, 2010).

Hujan merupakan unsur iklim yang paling penting di Indonesia karena keragamannya sangat tinggi baik menurut waktu dan tempat. Hujan adalah salah satu bentuk dari presipitasi, presipitasi adalah proses jatuhnya butiran air atau kristal es ke permukaan bumi. (Lakitan, 2002). Nilai pH air hujan pada saat terjadi hujan asam dapat lebih kecil dari padapH air hujan normal 5,6 (Effendi, 2003).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa karakteristik korosi pada lapisan baja galvalum, sebagai rangka atap pada konstruksi bangunan yang diberi variasi beban dan lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang terdapat dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh derajat keasaman air hujan terhadap karakteristik korosi pada baja galvalum.



LAPORAN TUGAS AKHIR

BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

2. Bagaimana pengaruh beban tarik terhadap karakteristik korosi pada baja galvalum.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa dan memahami pengaruh derajat keasaman air hujan terhadap karakteristik korosi pada baja galvalum.
2. Menganalisa dan memahami pengaruh beban tarik terhadap karakteristik korosi pada baja galvalum.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Komposisi kimia, dimensi dan kehalusan lapisan coating pada baja galvalum homogen.
2. Kecepatan fluida diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi laju korosi pada lapisan baja galvalum dengan variansi beban dan lingkungan asam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi

Korosi adalah proses degradasi / deteorisasi / perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya. Ada pengertian dari pakar lain, yaitu :

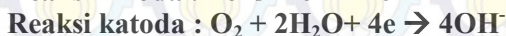
1. Korosi adalah perusakan material tanpa perusakan material
2. Korosi adalah kebalikan dari metalurgi ekstraktif
3. Korosi adalah system thermodinamika logam dengan lingkungan (udara,air,tanah) yang berusaha mencapai kesetimbangan. (Budi utomo, 2009)

2.1.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi

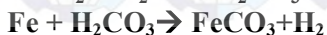
Umumnya masalah korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

1. Faktor Gas Terlarut.

- Oksigen (O₂), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada mild steel alloys akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



- Karbondioksida (CO₂) jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya membentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:





LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

2. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

3. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan $pH < 7$ bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk $pH > 7$ bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada $pH < 7$ dan pada $pH > 13$.

4. Faktor Bakteri Pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB)

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

5. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion dan juga menyebabkan pecahnya alloys.
- Karbonat (CO_3), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- Sulfat (SO_4), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam (Sidiq, 2013)

2.1.2 Faktor Lingkungan

Berikut ini karakteristik lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi :

1. Air Tanah

Air atau uap air dalam jumlah sedikit atau banyak akan mempengaruhi tingkat korosi pada logam. Reaksinya bukan hanya antara logam dengan oksigen saja, tetapi juga dengan uap air yang menjadi reaksi elektrokimia. Karena air berfungsi sebagai media elektrolit untuk bereaksinya oksigen dengan logam. Dengan adanya elektrolit, maka dapat terjadi reaksi korosi



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

karena elektrolit adalah salah satu faktor terjadinya korosi pada material. Ion logam pada permukaan logam yang terkena kontak langsung dengan lingkungan lembab akan menghasilkan oksida. sehingga diperlukan penanggulangan untuk melindungi logam.

2. Air Hujan

Hujan merupakan unsur iklim yang paling penting di Indonesia karena keragamannya sangat tinggi baik menurut waktu dan tempat. Hujan adalah salahsatu bentuk dari presipitasi, presipitasi adalah prosesjatuhnya butiran air atau kristal es ke permukaan bumi. (Lakitan , 2002)

Nilai pH air hujan pada saat terjadi hujan asam dapat lebih kecil dari padapH air hujan normal (5,6), yakni mencapai nilai 2 atau 3. Hujan asam terjadikarena tingginya gas sulfur oksida (SO_x) dan nitrogen oksida (NO_x). Gas sulfuroksida dapat berupa sulfur dioksida (SO_2), sulfit (SO_3^{2-}), dan sulfat (SO_4^{2-});sedangkan nitrogen oksida dapat berupa nitrat (NO_3) dan nitrogen dioksida (N_2O).gas-gas tersebut terdapat di atmosfer sebagai hasil emisi (buangan) dari kegiatan industri kendaraan bermotor. SO_x terutama dihasilkan dari hasil pembakaran batubara (mengandung banyak sulfur) sedangkan NO_x terutama dihasilkan daripembakaran bahan bakar minyak. Selain mengeluarkan gas NO_x , kendaraanbermotor juga melepaskan emisi gashidrokarbon, CO dan partikel timbal. Diperkirakan sekitar 50% dari keberadaan gas NO_x dan 90% gas SO_x akanmenghasilkan H_2S , HSO_3^- dan H_2SO_4 yang bersifat asam kuat, sedangkan oksidasi gas NO_x akan menghasilkan asam nitrat (HNO_3) sehingga menurunkan nilai pHair hujan (Effendi, 2003).Pada pengujian sebelumnya telah dilakukan uji komposisi pada air hujan untuk mengetahui kandungan air hujan yang digunakan sebagai media korosif pada air hujan *pH* 5.95

Tabel 2. 1Hasil Uji Komposisi Air Hujan

No	Elemen	Satuan	Hasil Analisis	Metode Analisa
1	pH	-	5.95	pH meter



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

2	Klorida	mg/L Cl ⁻	68.00	Argentometri
3	Sulfat	mg/L SO ₄	0.00	Spektrofotometri
4	Amonia	mg/L NH ₃ -N	1.32	Spektrofotometri
5	CO ₂	mg/L CaCO ₃	250.00	Trimetric
6	Oksigen terlarut	mg/L O ₂	6.80	Iodimetri

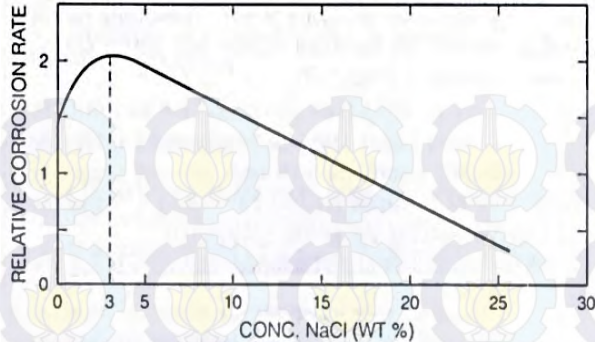
3. Air Laut

Korosi pada baja karbon dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif, seperti ion klorida (Cl⁻). Ion klorida dapat merusak lapisan pasif yang menghalangi korosi. Mekanisme tersebut dapat menghasilkan *pitting corrosion* dimana lapisan pasif yang pecah akan memberikan jalan bagi H⁺ menuju logam yang sudah tidak terlindungi lagi.

Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek merusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi uniform dibandingkan dalam bentuk *localized attack* (ASM Handbook Vol.13A, 2003). Pengujian salt spray bertujuan untuk mendapatkan simulasi lingkungan yang dekat dengan laut. Hasil produk korosi baja galvalum pada lingkungan air laut adalah ZnO, Zn(OH)₂, Zn₅(OH)₈Cl₂·H₂O, Al₂O₃, AlOOH, Al(OH)₃, Zn₆Al₂(OH)₁₆CO₃·4H₂O dan Zn₂Al(OH)₆Cl·H₂O. (Zhang. 2014).



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 1 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi (*Jones, 1992*)

Lapisan galvanis memberikan perlindungan yang cukup pada baja saat terkena semprotan air garam. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi seng di air ledeng juga berlaku untuk air laut. Namun, garam terlarut dalam air laut yang merupakan penentu utama dari perilaku korosi seng yang terkena semprotan air garam. Mengingat tingginya kadar klorida dalam air laut, korosi dalam seng sangat tinggi. Namun, kehadiran ion magnesium dan kalsium dalam air laut memiliki efek penghambatan kuat pada korosi seng. Hasil dari uji laboratorium menggunakan larutan natrium klorida (NaCl) untuk mensimulasikan efek dari paparan air laut pada baja galvanis tidak akurat. Hasil tes lapangan seringkali berbeda dari tes laboratorium. (*AGA, 2010*)

2.2 Metode Pencegahan Korosi

Dengan dasar pengetahuan tentang proses korosi yang dapat menjelaskan mekanisme dari korosi, dapat dilakukan usaha-usaha untuk pencegahan terbentuknya korosi

a) Pengubahan Media

Korosi merupakan interaksi antar logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada tiga situasi yang dapat terjadi yaitu:

- Media sekitar / lingkungan berupa gas
- Media sekitar berupa larutan dengan anion-ion tertentu



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

- Logam terbenam dalam tanah.

b) Seleksi Material

Metode umum yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu pemilihan logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi risikoterjadinya korosi.

c) Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*)

Proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyaipotensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimiadengan logam berpotensial rendah bersifat katodikdan terproteksi.

Macam :

Impressed Current

Galvanic Sacrificial Anode

Galvanic Zinc Application

- *Zinc Metallizing*

- *Zinc-Rich Paints*

- *Hot-Dip Galvanizing*

d) Proteksi Anodik (*Anodic Protection*)

Adanya arus anodik akan meningkatkan laju ketidak-larutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam-logam“active-passive” seperti Ni, Fe, Cr,Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat logam dikontrol seksama (dengan potentiostat) maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak terlarut akan berkurang.

e) Inhibitor Korosi

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi adalah dengan penggunaan *inhibitor* korosi. Secara umum suatu *inhibitor* adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Sedangkan *inhibitor* korosi adalah suatu zat kimia yang bila ditambahkan kedalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam. Mekanisme penghambatannya terkadang lebih dari satu jenis. Sejumlah *inhibitor* menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif.

f) Pengubahan Media / Lingkungan

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada tiga situasi yang dapat terjadi yaitu:

- Media sekitar / lingkungan berpagas
- Media sekitar berupa larutan dengan ion-ion tertentu
- Logam terbenam dalam tanah.

g) Pelapisan (Coatings)

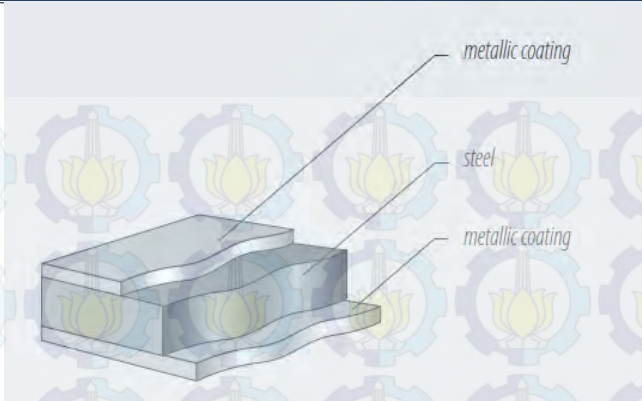
Prinsip umum dari pelapisan yaitu melapiskan logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung.

Jenis - jenis coating :

- Metallic coatings
- Paint /organic coatings
- Chemical conversion coatings
- Miscellaneous coatings (enamel, thermoplastics). (Sidiq, 2013)

2.3 Metal Coating

Metal coating atau pelapisan logam bisa diartikan sebagai baja yang dilapisi dengan zinc, paduan zinc/aluminium atau aluminium murni yang bertujuan untuk melindungi material dari korosi dan memberi perlindungan pada material tersebut. Selain itu, coating juga memberikan gaya apung negatif (*negative buoyancy force*), memberikan fungsi anti slip pada permukaan substrat dan beberapa fungsi lainnya (Holmberg, K. dan Matthews, A. 2010).



Gambar 2. 2 Lapisan Metal Coating

2.4 Baja Galvalum

Galvalum pertama kali dibuat pada tahun 1962 dan dipatenkan oleh Bethlehem International Engineering Corporation. Produksi komersial pertama baja galvalum adalah pada tahun 1972. (Ogle, 2012) Untuk meningkatkan ketahanan korosi pada baja ringan dapat dilakukan dengan pelapisan paduan seng dan aluminium. Efek perlindungan korosi dari kombinasi kedua unsur ini dikenal setelah terdapat penelitian bahwa silikon menghambat reaksi korosi terhadap baja. Dengan demikian, paduan komersial yang dikenal sebagai Galvalume atau Zinalum muncul, dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Komposisi Lapisan Baja Galvalum (Elsner, 2011)

Unsur	%
Aluminium	55
Seng	43.4
Silikon	1.6



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 3 Komposisi Baja Paduan dalam Galvalum (Shuan Liu,2013)

Unsur	%
Carbon	0.04
Manganese	0.2
Silicon	0.008
Cooper	0.60

Paduan tersebut memberikan perlindungan galvanik yang sangat baik dan laju korosi yang rendah. Untuk mendapatkan tingkat perlindungan yang lebih tinggi dari permukaan logam tersebut, maka pelapisan dapat dipilih untuk memberikan efek penghambat korosi yang lebih efektif dan juga keindahan estetika yang lebih baik. Beberapa kondisi lingkungan agresif mengakibatkan kedua pelindung harus diterapkan untuk mendapatkan keefektifannya. Kombinasi tersebut, disebut sebagai sistem duplex, telah menunjukkan efek yang lebih baik bila dibandingkan dengan sistem pelapisan individu. Perlindungan korosi yang lebih baik ini diperoleh dari seng atau 55% lapisan Al-Zn (proteksi katodik + penyumbatan cacat oleh produk korosi), dan juga oleh sistem cat berpigmen (efek penghalang + baja korosi inhibisi). (Elsner, 2011)

2.4.1 Aplikasi Baja Galvalum

Paduan baja dengan lapisan 55% Aluminium-Seng baja adalah kombinasi yang baik untuk rangka atap. Dalam kondisi yang tidak dicat, ketahanan korosi baja galvalum melebihi semua baja berlapis logam lainnya. Hal tersebut menambah umur material menjadi dua kali lebih lama daripada lapisan seng biasa dengan ketebalan yang sama dan memberikan perlindungan yang sangat baik terhadap korosi. (ZAC, 2005). Jurnal ini menunjukkan bahwa di atap daerah Amerika dan Eropa, baja galvalum memiliki umur lebih dari 40 tahun. Atap yang ditempatkan di lingkungan perkotaan, industri, laut dan asammiliki usia sekitar 9-30



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

tahun. Sebagian besar memiliki kemiringan kurang dari 10 derajat (1 derajat = $1/4: 12$).

Dalam aplikasi konstruksi, Galvalume dikenal sebagai produk yang sangat baik untuk atap dengan umur panjang, terutama atap rendah pada bangunan industri. Untuk atap rendah, produk ini digunakan sebagai lembaran atap yang tidak dicat dan terekspos langsung. Ketika digunakan untuk atap rendah-lereng, Galvalume telah terbukti melakukan dengan baik selama lebih dari 20 tahun dan dalam banyak kasus lebih dari 25 tahun tanpa kerusakan. (Ogle, 2012)

2.4.2 Sifat Mekanik Aluminium dan Seng

Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium. Aluminium memiliki kekerasan brinell 245 Mpa dan modulus young sebesar 70 GPa. Sedangkan kekuatan tarik aluminium sebesar 90 MPa. (Yuliana, 2009)

Sedangkan Seng digunakan untuk memproduksi kuningan, perunggu dan galvanis. Seng juga digunakan dalam elemen non-struktural yaitu talang hujan dan panel dekoratif. Seng memiliki modulus young sebesar 108 GPa, modulus geser sebesar 43 GPa, dan kekerasan brinell sebesar 412 MPa. Lapisan seng merupakan pelindung terbaik terhadap efek korosi oksigen atmosfer dan uap air. Dengan cara mencegah kontak fisik dari baja dengan udara. Lapisan seng akan menjadi anoda dalam melindungi baja. (Putra, 2009)

2.4.3 Beban

Beban yang diterima oleh rangka atap, baja galvalum, harus lebih kecil daripada tegangan luluh yang terdapat pada baja galvalum. Jika beban yang diterima oleh rangka atap lebih besar dari tegangan luluh, maka baja galvalum akan berada pada



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

keadaan plastis sehingga material tersebut akan mengalami kegagalan.

Jenis-jenis beban yang biasa dipergunakan dalam perencanaan strukturrangka atap antara lain sebagai berikut:

a. Beban mati (*Dead Load* / DL)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu konstruksi yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari konstruksi tersebut.

b. Beban hidup (*Life Load* / LL)

Beban hidup merupakan beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerjapada suatu konstruksi sangatlah sulit karena fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban hidup lebih besar dibanding beban mati.

c. Beban angin (*Wind Load*)

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada suatu konstruksi yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. (Suyono Nt,2007)

2.4.4 Tegangan Lentur

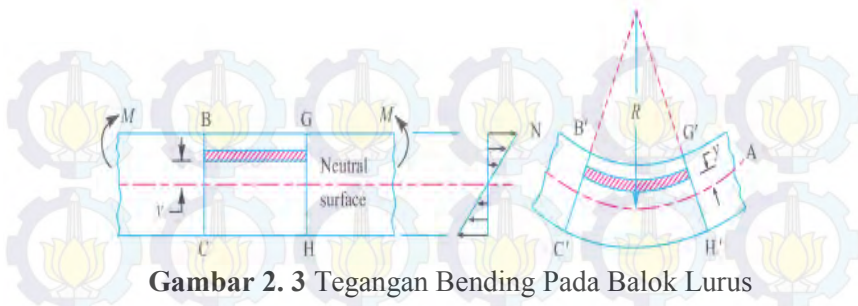
Tegangan lentur adalah tegangan yang terjadi karena adanya pembebanan dari luar tegak lurus ke arah sumbu longitudinal dari elemen. Untuk merumuskan tegangan bending, biasanya dibuat asumsi sebagai berikut.

1. Bahan balok sempurna homogen (misalnya dari bahan yang sama) dan isotropik (yaitu sifat elastis yang sama dalam segala arah).
2. Bahan balok mematuhi hukum Hooke.
3. Setiap lapisan balok bebas untuk memperluas atau kontrak, independen, lapisan, atas atau bawahnya.
4. Modulus Young (E) adalah sama dalam ketegangan dan kompresi.
5. Beban yang diterapkan dalam bidang lentur.



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

(R.S. Khurmi, 2005)



Gambar 2. 3 Tegangan Bending Pada Balok Lurus

Rumus yang digunakan pada tegangan bending adalah:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R} \quad (1)$$

Dimana,
M = momen lentur (bending moment)
I = Momen Inersia
 σ = Tegangan Bending
y = jarak titik tumpu terhadap beban
E = Modulus Young
R = Radius kurva

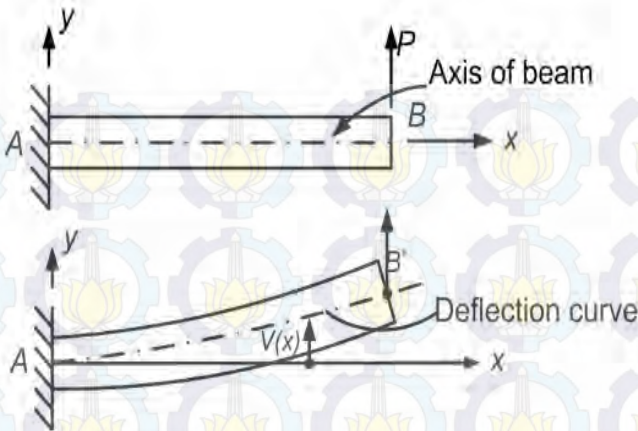
Maka, dari rumus tersebut, didapatkan rumus tegangan bending sebagai berikut

$$\sigma = \frac{M}{I} \times y \quad (2)$$

Momen lentur adalah reaksi yang ditunjukkan oleh elemen struktur ketika terkena gaya atau momen yang teraplikasi pada elemen sehingga mengakibatkan elemen melentur. Momen lentur biasa menggunakan symbol M_z . Beban yang bekerja pada balok yang menyebabkan balok terdeformasi dan membentuk kurva disebut dengan kurva defleksi.

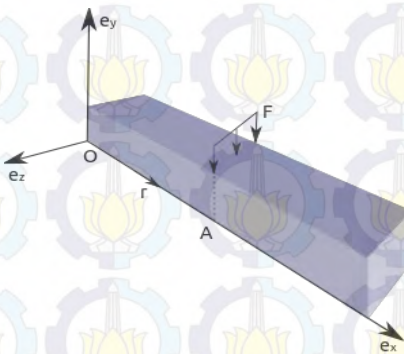


LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 4 Kurva Defleksi Pada Balok

Bidang xy setelah terjadi deformasi, maka, bidang tersebut disebut sebagai bidang lentur.



Gambar 2. 5 Momen Gaya Pada Balok

Rumus yang digunakan untuk menghitung momen pada balok tersebut adalah:

$$M = r \cdot F \quad (3)$$



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Dengan M adalah besar Momen, r adalah posisi besaran dari titik 0 terhadap gaya. sedangkan F adalah besar gaya. (Indian Institute of Technology)

Sedangkan momen inersia merupakan sifat massa dari bentuk elemen yang menentukan torsi yang dibutuhkan untuk percepatan sudut yang diinginkan terhadap suatu sumbu rotasi. Momen inersia tergantung pada bentuk elemen dan akan berbeda di sekitar sumbu rotasi yang berbeda. Sebuah momen inersia yang lebih besar di sekitar sumbu yang diberikan, akan membutuhkan torsi lebih untuk meningkatkan rotasi atau menghentikan rotasi terhadap sumbu itu. Momen inersia tergantung pada jumlah dan distribusi massa, dan dapat ditemukan melalui jumlah momen inersia massa yang membentuk seluruh objek, di bawah kondisi yang sama.

Momen Inersia dirumuskan sebagai berikut:

$$I = \frac{L}{\omega} \quad (4)$$

Dengan I = Momen inersia
 L = Momen sudut
 ω = Kecepatan Sudut

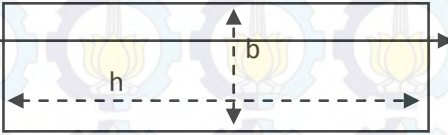
(R.S. Khurmi, 2005)

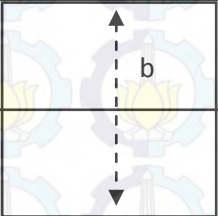
Terdapat nilai momen inersia, modulus section, dan jarak (y) pada tabel berikut:



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 4 Nilai Penampang Melintang (R.S. Khurmi, 2005)

Section	
Area	bh
Moment of Inertia	$\frac{bh^3}{12}$
Distance from the neutral axis to the extreme fibre (y)	$\frac{b}{2}$
Section modulus $Z = \frac{I}{y}$	$\frac{bh^2}{6}$

Section	
Area	b^2
Moment of Inertia	$\frac{b^4}{12}$
Distance from the neutral axis to the extreme fibre (y)	$\frac{b}{2}$



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Section modulus $Z = \frac{I}{y}$	$\frac{b^4}{6}$
-----------------------------------	-----------------

Pada tabel 2.4 jarak antara sumbu netral adalah setengah dari lebar. Atau bisa juga setengah dari tebal material. Ketika tegangan bending terjadi pada suatu material, maka terdapat dua tegangan yang terjadi pada satu material. Salah satu bagian dari material akan terkena tegangan tekan, sedangkan bagian lain akan terkena tegangan Tarik. Seperti pada gambar 2.4, bagian atas (sumbu B''-G'') terkena tegangan tekan sehingga terjadi tekanan pada material tersebut. Tetapi untuk bagian bawah (sumbu C''-H'') terkena tegangan tarik sehingga terjadi tekanan pada material tersebut. Distribusi regangan dari material tidak linear. Sehingga bagian dari sumbu B''-G'' memendek karena tegangan tekan tersebut. Sedangkan sumbu C''-H'' memanjang karena penarikan dari tegangan. Antara sumbu B''-G'' dan sumbu C''-H'' terdapat permukaan yang disebut dengan permukaan netral. dimana terdapat tegangan yang berbeda di antara permukaan tersebut. Perpotongan dari permukaan netral dengan sumbu yang tegak lurus merupakan sumbu netral. (R.S. Khurmi, 2005)

2.5 Korosi pada baja galvalum

2.5.1 Jenis-Jenis Korosi

Berikut ini adalah tipe-tipe korosi yang bisa dipelajari ada 8 jenis korosi antara lain:

1. Uniform/General Corrosion

Korosi ini yang paling sering dijumpai. Korosi ini dikontrol oleh reaksi kimia atau elektrokimia antara permukaan logam dengan media korosifnya. Pengurangan berat terjadi merata pada seluruh permukaan logam.

Cara pencegahannya yaitu dengan cara:

- Pemilihan material yang tepat (semakin murni bahan semakin tahan korosi)
- Pelapisan
- Penambahan inhibitor (media eletrolit)
- Penambahan elemen paduan pada logam



- Proteksi katodik

2. Galvanik corrosion

Korosi ini terjadi apabila ada dua jenis logam yang memiliki beda potensial dan saling kontak berada pada media/larutan yang konduktif dan korosif maka akan menyebabkan terjadinya aliran arus listrik atau perpindahan elektron, selain itu juga galvanic corrosion dapat terjadi karena adanya pengaruh lingkungan seperti lingkungan media korosif dan pengaruh luas.

Cara pencegahannya yaitu dengan cara:

- Pilih material yang mempunyai selisih EMF yang kecil (berdekatan pada seri galvanik)
- Hindari anoda dengan luas kecil dan katoda dengan luas besar.
- Anoda dan katoda pisahkan dengan bahan isolator
- Coating
- Tambahi inhibitor (zat penghambat) pada media korosif

3. Crevice Corrosion (Korosi Celah)

Merupakan salah satu jenis korosi lokal. Korosi ini disebabkan oleh adanya sejumlah kecil sekali larutan yang terstagnasi (diam) karena adanya hole. Sambungan penyebab timbulnya „celah“ sehingga korosi ini sering juga disebut korosi deposit, korosi retakan, korosi packing. Penyebabnya terjadinya korosi ini disebabkan oleh adanya faktor lingkungan.

Cara pencegahannya yaitu dengan cara:

- Gunakan sambungan las
- Tutup sambungan non welded dengan las atau solder
- Hindari zona stagnasi
- Periksa secara intensif dan periodik zona celah-celah
- Hindari packing yang basah.

4. Pitting Corrosion

Merupakan korosi jenis lokal yang menyerang pada logam yang selaput pelindungnya robek secara mekanik dan memiliki tegangan konsentrasi lokal. Jenis korosi ini sulit dibedakan dengan korosi celah, korosi celah dipicu oleh beda konsentrasi O_2 sedangkan korosi sumuran dipicu oleh faktor metalurgi

5. Korosi Batas Butir (Intergranular Corrosion)



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Korosi ini pertama terjadi karena orientasi kristalografi acak yang menyebabkan daerah tidak stabil dengan enersi tinggi sehingga mudah terkena korosi jenis ini. Korosi jenis ini sering dijumpai pada stainless steel austenitik, ss tahan terhadap korosi merata, tetapi pada temperatur tertentu yaitu temperatur sensitis (450-800 der C)

Cara pencegahannya yaitu dengan cara:

- Memperpanjang waktu penahanan pada proses homogenisasi, sehingga konsentrasi Cr merata disetiap titik
- Menurunkan kandungan karbon
- Menambahkan unsur yang memiliki afinitas tinggi terhadap karbon (Ti, Nb)
- Menambahkan unsur pembentuk fase α

6. Stress Corrosion Cracking (SCC)

Merupakan jenis korosi yang terjadi apabila adanya internal stress dan berada pada media lingkungan korosif.

Inisiasi korosi pada baja galvalum terjadi di daerah kaya seng, sedangkan korosi kaya aluminium terjadi setelah pemaparan dalam waktu yang lebih lama, atau pada kondisi korosif. Korosi Galvalum biasanya melibatkan pelepasan unsur yang kurang mulia, sehingga permukaan hanya terdapat unsur yang mulia. Dari lingkungan yang ada, dapat diprediksi unsur yang paling aktif yaitu aluminium atau seng. Namun, produk korosi berkembang bertahap di permukaan, pengayaan satu atau lebih unsur paduan dalam fase paduan mengakibatkan produk korosi berkembang di permukaan oksida. (Zhang, 2014).

E. Palma. menunjukkan bahwa pada tahap awal paparan atmosfer dari 55% Al-Zn, daerah yang kaya seng akan berkarat terlebih dahulu, sementara fase kaya aluminium sedikit berkarat. Daerah yang kaya seng memberikan perlindungan galvanik sedangkan daerah yang kaya aluminium menjadi lapisan penghalang.

D. Persson. juga menunjukkan bahwa selama paparan 55% Al-Zn ke lingkungan laut, daerah kaya seng sensitif terhadap korosi sementara daerah yang kaya aluminium lebih tahan

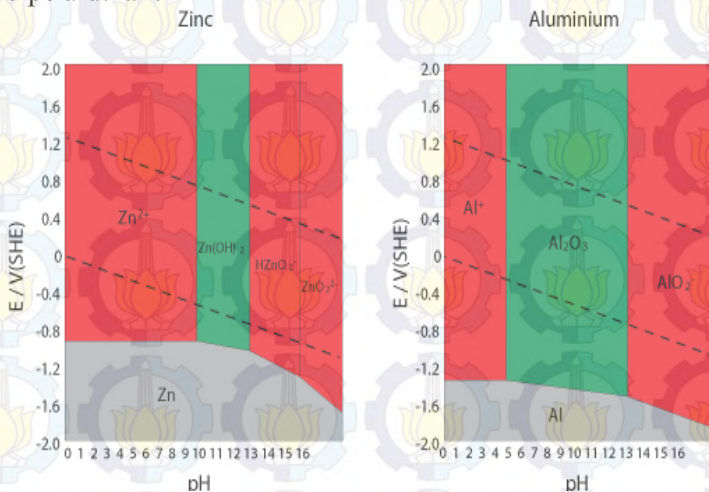


LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

terhadap serangan korosi. Produk korosi yang dihasilkan pada baja Zn55Al setelah terekspos lingkungan laut (Brest, Prancis) terdiri dari zinc aluminium hydroxy carbonate, hydrotalcite ($\text{Zn}_{0.71}\text{Al}_{0.29}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_{0.145} \cdot x\text{H}_2\text{O}$), zinc chloro sulfate ($\text{NaZn}_4(\text{SO}_4)\text{-Cl}(\text{OH})_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan zinc hydroxy chloride, $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Zinc hydroxy carbonate $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$ terbentuk setelah pengeksposan dalam waktu yang panjang.

Selain itu, xian zhang dalam thesis yang dia tulis dengan judul *Atmospheric corrosion of zinc-aluminum and copper-based alloys in chloride-rich environments* menjelaskan bahwa produk korosi baja galvalum di lingkungan air laut adalah ZnO , $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Al_2O_3 , AlOOH , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Zn}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}_2\text{Al}(\text{OH})_6\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Diagram pourbaix adalah diagram yang memperlihatkan kondisi-kondisi dimana logam akan terkorosi, tidak terkorosi atau mengalami pasifasi dalam larutan berpelarut air.



Gambar 2. 6 Diagram Pourbaix Zn dan Al (Cambridge 2012)

Gambar 2.6 adalah diagram pourbaix seng dan aluminium. Menurut diagram pourbaix, daerah abu-abu adalah daerah imun, daerah hijau adalah daerah pasif, dan daerah merah



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

adalah daerah korosif. $\text{Zn}(\text{OH})_2$ dan Al_2O_3 adalah lapisan pasif. Zn dan Al murni merupakan fasa imun. Zn^{2+} , HZnO_2^- , ZnO_2^{2-} , Al^+ dan AlO_2^- adalah fasa korosif dari seng dan aluminium.

2.6 Weight Loss Method

Metode *weight loss* atau juga dikenal sebagai metode kehilangan berat. Metode pengukuran korosi ini paling banyak digunakan dikarenakan caranya yang mudah dilakukan. Pada pengujian ini logam akan ditempatkan dalam lingkungan tertentu dalam waktu tertentu untuk dibiarkan terkorosi. Logam yang diuji ini biasa disebut *coupons*. Kupon merupakan lempengan logam yang ditempatkan dalam sistem dan dibiarkan terkorosi untuk mengetahui laju korosi melalui pengurangan berat. (Jones, 1992)

Coupons menggambarkan kerusakan korosi selama periode waktu dan hanya digunakan dalam kondisi dimana peningkatan laju korosi dapat diukur. Bentuk dan dimensi *coupon* dapat bervariasi sesuai persyaratan pengujian. Sebelum *coupon test* diletakan pada media pengujian, maka produk korosi yang terbentuk sebelumnya harus dihilangkan. Metode penghilangan produk korosi dapat dilakukan tanpa menyebabkan korosi lebih lanjut.

Berdasarkan ASTM G31-04, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{KW}{DAT} \quad (13)$$

Dimana:

- K = konstanta ($\text{mpy} = 3,45 \times 10^6$)
- W = kehilangan berat (gram)
- D = densitas (gram/cm^3)
- A = luas permukaan yang terendam (cm^2)
- T = waktu (jam)



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. 5 Konstanta Laju Korosi (ASTM G31-04)

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per mounth (ipm)	2.87×10^4
Millimeters per year (mm/y)	8.76×10^7
Micrometers per year ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^4
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Gram per square meter per hour ($\text{g/m}^2.\text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g/m}^2.\text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D^A$

Definisi korosi adalah suatu kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan yang berada di dalam suatu lingkungan (Jones, 1992). Reaksi korosi ini akan menyebabkan suatu material mengalami perubahan sifat (baik secara fisik maupun kimia) yang cenderung kearah lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari suatu material atau logam apabila terkena korosi akan mengalami penurunan kualitas maupun kuantitas. Proses korosi ini merupakan suatu fenomena yang alami. Jika dipandang dari sudut metalurgi, fenomena korosi ini merupakan suatu peristiwa dimana suatu material atau logam akan kembali dalam bentuk asalnya karena pada bentuk asalnya logam memiliki energi yang rendah.



2.7 Penelitian Sebelumnya

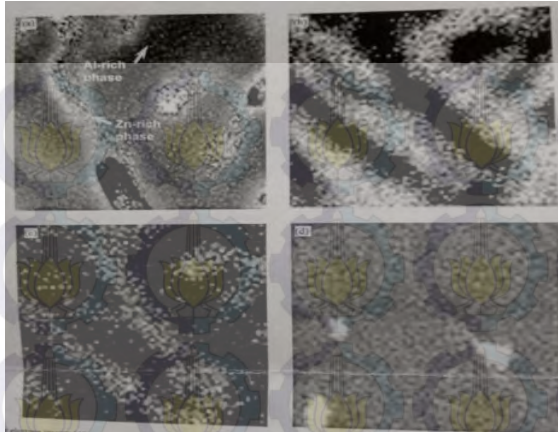
Pada penelitian sebelumnya, spesimen baja galvalum Al-Zn coating (55% Al, 43.4% Zn, 1,6% Si) dengan tebal 25m kemudian sampel dikorosikan pada 3 buah media yaitu dengan menggunakan air hujan sintetis (p-H 4.4) dengan konten diubah Cr (0.01 dan 0.3mm) dan air laut sintetis (ph 8.1) dengan menggunakan metode flow cell test dan immerse test. Setelah itu hasil dari menggunakan metode tersebut dilakukan pengujian dengan menggunakan SEM, IRAS, CRM, Xray, AES, XPS, GIXRD. Hasil dari analisis menunjukan bahwa harga dari produk korosi yang dibandingkan dengan 2 metode flow cell test dan immerse test dalam kondisi jangka pendek menunjukan bahwa sampel yang menggunakan metode immerse test mengakibatkan tingkat pelepasan pada suatu baja galvalum ini lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode flow cell test dan Selama kondisi perendaman total pelepasan seng dan aluminium adalah serupa di semua media, sedangkan dalam kondisi mengalir total laju pelepasan meningkat dengan kandungan klorida (Zhang, 2012)

Pada penelitian yang lainnya, sebuah sample ZA4 (Zn-4%Al), ZA8 (Zn-8%Al), ZA12 (Zn-12%Al), dan ZA16 (Zn-16%Al) dikorosikan dengan lingkungan hujan asam, hasil yang didapatkan adalah dengan bertambahnya berat Al, laju korosi pada sampel berkurang. Urutan laju korosi adalah $ZA4 > ZA8 > ZA12 > ZA16$. ZnO dan $Zn_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ adalah hasil produk korosinya. (LijingYang, 2012).

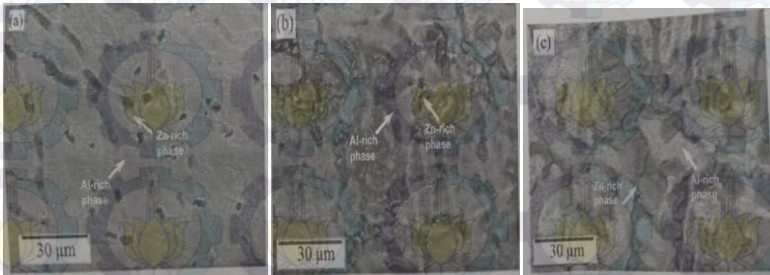
Menurut Ping Qiu 2012 dengan judul “Evolution of corrosion products and metal release from galvalum coatings on steel during short and long-term atmospheric exposures” menjelaskan bahwa daerah gelap merupakan daerah yang kaya akan fasa seng (Zn-Rich Phase) Daerah yang terang adalah daerah yang kaya akan fasa aluminium (Al-Rich Phase).



LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 7 menunjukkan backscatter electron images ($40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$) dari sebelum perlakuan lapisan galvalum pada baja (a) kemiripan elemen mapping of aluminium(b), zinc(c), Si(d)



Gambar 2. 8 menunjukkan hasil SEM dari produk korosi terutama dalam area interdendritik dari galvalum yang terekspose selama 12minggu(a), 1minggu(b) dan 5minggu(c).



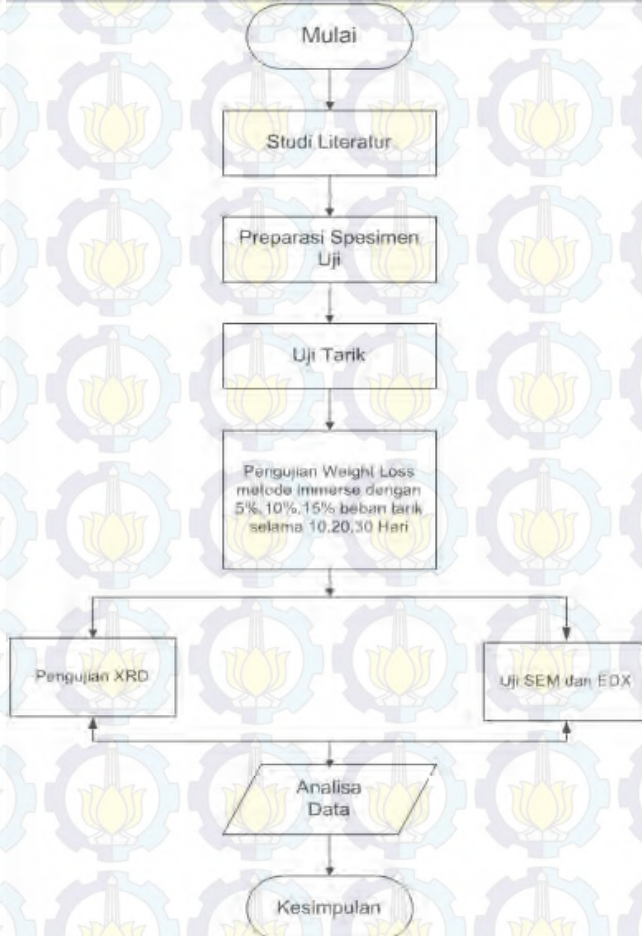
LAPORAN TUGAS AKHIR BAB II - TINJAUAN PUSTAKA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Metode ini menggunakan buku, jurnal, informasi dan penelitian dari situs industri sebagai acuan untuk mempelajari mengenai masalah perubahan beban yang diterima pada baja galvalum terhadap laju korosi.

2. Diskusi dan *interview*

Metode ini bertujuan memberikan wawasan kepada penulis agar dapat memahami masalah dari penelitian. Hal ini dapat dilakukan dengan dosen pembimbing dan dosen mata kuliah yang ahli di bidang korosi.

3. Experimental

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan data langsung dari pengujian sesuai prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian dalam eksperimen ini yaitu *weight loss corrosion dengan metode immerse*, XRD dan SEM

3.3 Peralatan dan Bahan

3.3.1 Peralatan Penelitian

1. Jangka Sorong dan Penggaris
2. Alat Potong Plat
3. Gunting Seng
4. Gergaji Besi
5. Gelas Ukur Besar
6. Gelas Ukur Kecil
7. Clamping
8. Tang
9. Kunci ring no12



10. Kamera
11. Gunting
12. Kawat Wire Leader
13. Holder Spesimen
14. Kertas gosok ukuran 2000
15. Timbangan Digital
16. Peralatan Pengujian XRD
17. Peralatan Pengujian SEM
18. Peralatan Pengujian Tarik
19. *Kertas pH*
20. *Spatula*
21. *Pipet*
22. *pH Meter*
23. *Corrosion Chamber*
24. Neraca pegas
25. Sikat Gigi

3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Material

Spesimen yang digunakan adalah baja galvalum. Komposisi yang terdapat pada baja galvalum dapat dilihat dalam tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Lapisan Baja Galvalum pada Spesimen (Elsner, 2011)

Al %Max	Zn %Max	Si %Max
55	43.3	1.6

2. Beban sebesar 5,10 dan 15 % Beban yield
3. Air Hujan
4. Aquades
5. Asam klorida(HCl)



6. NaOH
7. Ammonium Persulfat $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dengan dua jenis penelitian yaitu, untuk melihat laju korosi dan karakteristik korosi di lingkungan asam dengan menggunakan media air hujan dengan pemberian beban. Pengujian korosi dengan metode *weight loss immerse test* dilakukan untuk memperoleh data laju korosi pada variasi beban 5, 10, dan 15% beban yield pada temperatur kamar dengan air hujan dengan pH 5.6 dan pH 7.5 selama 10 hari, 20 hari, dan 30 hari. Pengujian karakteristik permukaan dilakukan dengan alat SEM EDX dan XRD untuk mendapatkan senyawa produk korosi yang dihasilkan.

3.5 Preparasi Spesimen Weight Loss Immerse

Spesimen yang akan diuji *weight loss* adalah baja galvalum. Langkah-langkah preparasi spesimen *weight loss* adalah sebagai berikut:

1. Potong spesimen baja galvalum sesuai ukuran 40x10 mm sebanyak 36 buah.
2. Beri lubang pada masing-masing ujung spesimen dengan ukuran \varnothing 2 mm yang masing-masing lubang digunakan untuk mengikat spesimen menggunakan kawat wire leader ke holder spesimen.
3. Beri nomor pada masing-masing spesimen
4. Timbang berat awal spesimen
5. Beri kawat wire leader sepanjang 200 mm pada lubang spesimen pada bagian atas..
6. Kaitkan dan ikatkan kawat untuk lubang yang atas dan untuk mengunci kawat menggunakan *clamp* pada timbangan gantung neraca pegas
7. Beri kawat wire leader sepanjang 200 mm pada lubang spesimen pada bagian bawah



8. Kaitkan dan ikatkan pada holder spesimen dengan kawat wire leader
9. Putar mur bagian atas hingga neraca pegas menunjukkan angka yang tertera sesuai berat yang diinginkan
10. Siapkan 2 chamber besar dan pH meter serta kertas pH
11. Tuangkan air hujan pada masing-masing chamber lalu atur pH air hujan menjadi 5.6 dan 7.5 dari masing-masing chamber dengan larutan NaOH sebagai larutan basa yang berfungsi untuk menaikkan pH dan larutan asam asetat HCl untuk menurunkan pH



Gambar 3. 2 Spesimen *Weight Loss Immerse*



Gambar 3. 3 Spesimen Dengan Bebas

3.6 Preparasi Elektrolite

Elektrolite yang digunakan adalah air hujan yang ditampung/diperoleh dari sekitar lingkungan ITS dalam rentan waktu bulan februari sampai dengan bulan april kemudian diukur pH nya. Dari hasil pengukuran didapatkan pH terendah dan tertinggi dari hasil pengukuran yaitu 5.6 dan 7.5 untuk keperluan eksperimen maka air hujan tersebut dikondisikan menjadi pH 5.6 dan 7.5 di chamber yang berbeda.



Gambar 3. 4 Air Hujan



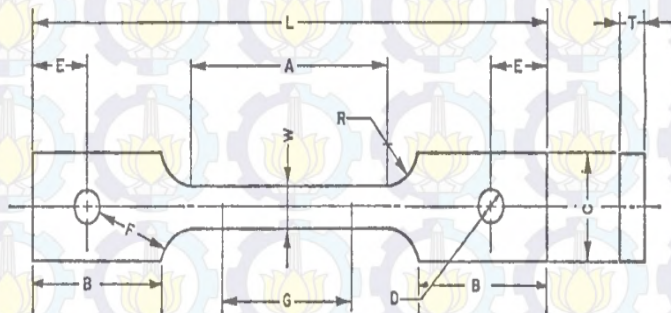
3.7 Preparasi Chamber Weight Loss Immerse

Pada pengujian *Weight Loss* digunakan *chamber* dari bak dengan volume sebesar 30 liter. Preparasi *chamber* dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Bersihkan *chamber* dari kotoran dengan pembersih.
2. Tuangkan air hujan kedalam *chamber* atur *pH* air hujan menjadi 5.6 dan 7.5
3. Tuangkan 5-10 tetes larutan HCl dan larutan NaOH. Larutan HCl yang berfungsi untuk menurunkan *pH* sedangkan larutan NaOH yang berfungsi untuk menaikkan *pH* dengan menggunakan pipet
4. Siapkan *pH meter* dan kertas *pH* untuk memastikan *pH* sesuai.
5. Letakkan holder spesimen yang telah disiapkan.

3.8 Preparasi Spesimen Tarik

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja galvalum. Dimensi spesimen tarik mengacu pada standar ASTM E8M.



Gambar 3. 5 Standar Spesimen Tarik



Tabel 3. 2Diameter Spesimen Tarik menurut Standar ASTM E8M

G— Gage length	50.0 ± 0.1
W— Width	12.5 ± 0.2
T— Thickness, max	12.5
R— Radius of fillet, min	13
L— Overall length, min	200
A— Length of reduced section, min	57
B— Length of grip section, min	50
C— Width of grip section, approximate	50
D— Diameter of hole for pin, min	13
E— Edge distance from pin, approximate	40
F— Distance from hole to fillet, min	15

3.9Pengujian Tarik

Pengujian Tarik mengacu pada ASTM E8M. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan 5, 10, 15 % beban yield yang digunakan untuk acuan pembebanan pada pengujian *Weight Loss*



Gambar 3. 6 Peralatan Pengujian Tarik

3.10 Pengujian Weight Loss Immerse

Pengujian Weight loss immerse mengacu pada ASTM G4. Sedangkan untuk proses *cleaning* spesimen mengacu pada ASTM G1. Proses *cleaning* spesimen dilakukan dengan cara mencelup spesimen pada larutan 100 g ammonium persulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) yang dilarutkan dengan akuades hingga 1000 mL selama 5 menit, setelah itu spesimen di gosok dengan sikat dan dicelupkan akuades. Pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengurangan berat dari spesimen baja Galvalum yang kemudian dijadikan acuan untuk mendapatkan nilai laju korosi. Langkah-langkah pengujian *weight loss immerse* adalah sebagai berikut:



1. Siapkan *chamber weight loss immerse*.
2. Siapkan 18 baja galvalum dengan ukuran 40x10 mm.
3. Spesimen dibor atau di beri lubang disetiap ujung spesimennya dengan ukuran \varnothing 3 mm
4. Gantung ujung lubang yang paling atas dengan menggunakan kawat wire leader ke neraca pegas dengan beban 5,10,15% beban yield yang setara dengan 5.5kg, 11kg, dan 16.5kg.
5. Gantung ujung lubang bagian bawah dengan kawat wire leader yang dikaitkan dengan frame holder
6. Masukkan air hujan ke dalam *chamber*.
7. Rendam holder spesimen yang telah dipersiapkan ke dalam *chamber*.
8. Spesimen pertama direndam selama 10 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
9. Spesimen kedua direndam selama 20 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.
10. Spesimen ketiga direndam selama 30 hari kemudian dilakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan.



Gambar 3. 7 Rangkaian Pengujian *Weight Loss Immerse*

Tabel 3.3Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss Immerse* Air Hujan *ph* 5.6

Beban (%σy)	Waktu (hari)	Berat spesmen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)
5	10			
	20			
	30			
10	10			
	20			
	30			
15	10			
	20			
	30			



Tabel 3.4 Rancangan Percobaan Pengujian *Weight Loss*
Immerse Air Hujan ph 7.5

Beban (%σ _y)	Waktu (hari)	Berat spesimen awal (gr)	Berat spesimen akhir (gr)	Selisih berat (gr)
5	10			
	20			
	30			
10	10			
	20			
	30			
15	10			
	20			
	30			

3.11 Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD)

Analisa difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada baja galvalum yang telah mengalami pengujian korosi. Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* Laboratorium Karakterisasi Teknik Material dan Metalurgi. Spesimen yang diujikan adalah spesimen yang telah mengalami pengkorosian dengan menggunakan metode *weight loss immerse* selama 0 hari dan 30 hari untuk mewakili kondisi sebenarnya sebelum diberikan perlakuan *immerse*. Untuk mengidentifikasi produk korosi atau fasa yang terbentuk pada baja galvalum yaitu dengan menggunakan *software High Score!*

Pada pengujian XRD, sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang



berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (*plate*) dengan perekat pada sisi baliknya. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari produk korosi Aluminium dengan lingkungan dan Seng dengan lingkungan.



Gambar 3. 8 Mesin XRD pan Analytical

3.12 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dapat dilakukan menggunakan mesin SEM INSPECT S50 dengan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi profil permukaan yang terkorosi, distribusi produk korosi, komposisi dan pertumbuhan korosi yang terbentuk pada spesimen baja galvalum yang dikorosikan selama 0 dan 30 hari. Dimensi spesimen pada pengujian SEM ini adalah 40x10mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Karakterisasi jurusan



Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk melihat pola korosi dari baja galvalum.

Adapun cara kerja dari SEM adalah *electron gun* memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* untuk kemudian diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini dan menembakkan ke sampel, *scanner* membaca struktur permukaan sampel selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor dan dapat dicetak bila diperlukan.



Gambar 3. 9 Mesin SEM INSPECT S50



Tabel 3. 5 Rancangan Percobaan Pengujian secara keseluruhan

ph Air Hujan	Uji Tarik	Pengujian Weight Loss	Pengujian XRD	Pengujian SEM dan EDX
5.6				
7.5				



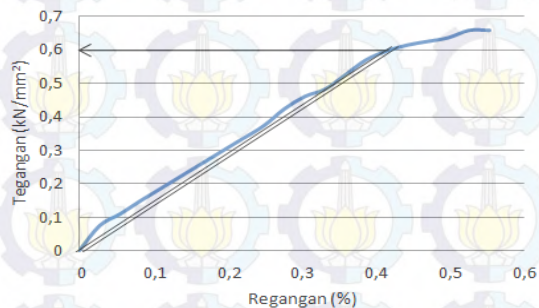
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

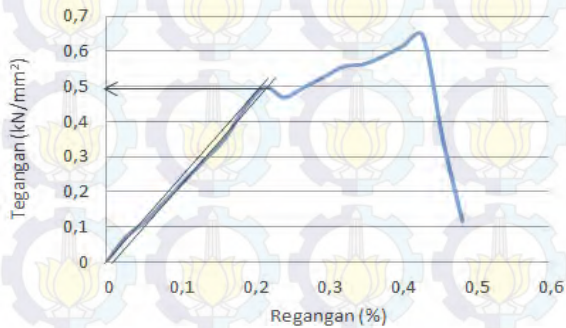
4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengujian Tarik

Hasil dari pengujian tarik baja galvalum dapat ditunjukkan oleh gambar 4.1



(a)



(b)

Gambar 4.1 Diagram Tegangan-Regangan Pengujian Tarik Spesimen Baja Galvalum (a) Spesimen 1, (b) Spesimen 2



Gambar 4.1 menunjukkan bahwa kurva Tegangan-Regangan dari pengujian tarik pada baja galvalum. Dari gambar pengujian tarik, diolah menjadi Tabel 4.1 untuk mendapatkan nilai tegangan luluh, diambil titik yang paling mendekati garis linier 0.002. kemudian dari 2 spesimen tersebut didapatkan 2 nilai tegangan yield yang kemudian dirata-rata. Dimana tegangan yield rata-rata tersebut menjadi patokan untuk beban yield yang diterima oleh spesimen baja galvalum pada pengujian *weight loss*. Berikut tabel 4.1 mengenai data pengujian baja galvalum.

Tabel 4. 1Nilai Tegangan Luluh Baja Galvalum

	σ_y (kN/mm ²)
Spesimen 1	0.6
Spesimen 2	0.48
Rata-rata σ_y	0.54

Tabel 4.1 menunjukkan nilai tegangan yield material baja galvalum yang dihasilkan oleh pengujian tarik. Hasil rata-rata nilai tegangan yield baja galvalum adalah 0.54 kN/mm². Selanjutnya karena hasil dari pengujian tarik masih berupa tegangan yield dalam satuan kN/mm² maka dikonversikan menjadi satuan kgf/mm². Hasil rata-rata dari nilai tegangan luluh dikonversikan menjadi kgf/mm². Berikut ini adalah cara perhitungan konversi satuan dari kN/mm² ke kgf/mm² yaitu sebagai berikut:

$$\frac{\text{Hasil rata-rata tegangan luluh (kN/mm}^2\text{)} \times \frac{1000 \text{ N}}{1 \text{ kN}} \times \frac{0.101972 \text{ kgf}}{1 \text{ N}}}{1 \text{ N}}$$



hasil dari perhitungan tersebut didapatkan nilai konversi tegangan yield dalam satuan kgf/mm^2 yaitu 55.064 kgf/mm^2 atau 55 kgf/mm^2 . Selanjutnya untuk memperoleh beban yield maka dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{beban yield} = \sigma_y \times \text{tebal} \times \text{lebar}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan nilai beban yield yang mampu diterima baja galvalum sebesar 110.13 kgf .

Tabel 4. 2 Nilai beban untuk pengujian immerse pada baja galvalum

$P_{max} 5\% (\text{kgf})$	5.5
$P_{max} 10\% (\text{kgf})$	11
$P_{max} 15\% (\text{kgf})$	16.5

4.1.2 Hasil Pengujian Weight Loss Immerse pH 5.6

Dari hasil pengujian *weight loss* dengan *pH* 5.6 dapat dilihat pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang direndam selama 10 hari, 20 hari, 30 hari dan diberi beban sebesar 5.5 kgf , 11 kgf , 16.5 kgf beban yield. Dari hasil grafik tersebut dapat dilihat selisih pengurangan berat yang bertambah seiring dengan adanya penambahan beban. Semakin lama spesimen uji terekspos pada lingkungan air hujan dengan *pH* 5.6, maka semakin menurun laju korosi yang dihasilkan pada spesimen tersebut. Hal ini terbukti pada 20 dan 30 hari perendaman. Laju korosi spesimen baja galvalum pada *pH* 5.6 terdapat pada gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 2Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Immerse Air Hujan pH 5.6*

Pada gambar 4.2 adalah grafik dari pengaruh waktu terhadap laju korosi. Semakin lama waktu pengujian, maka laju korosi cenderung turun. Warna biru menandakan laju korosi baja galvalum dengan beban 5%. Warna merah menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 10% beban yield. Warna hijau menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 15% beban yield.

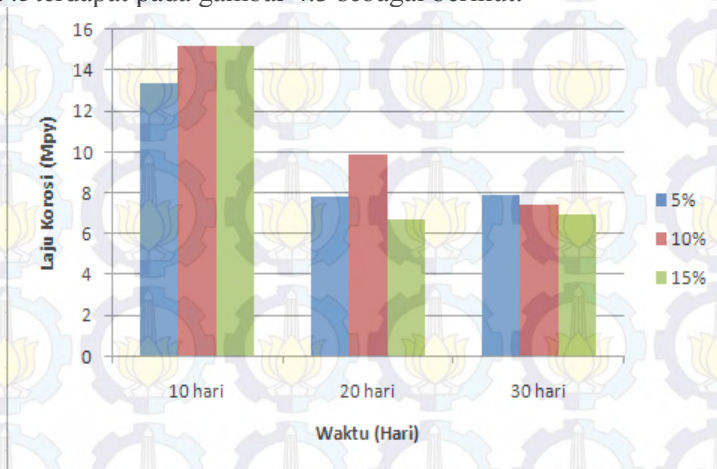
Hasil laju korosi terbesar ditunjukkan dengan beban 15% pada 10hari pertama, jika dibandingkan dengan beban 5% dan 10% pada 10 hari pertama dan cenderung menurun dihari berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya beban maka laju korosi semakin meningkat. dibandingkan pada hari berikutnya. Menurut *zhang 2011* hal ini disebabkan karena adanya laju pelepasan Zn lebih besar dibandingkan dengan Al seiring bertambahnya waktu. Karena apabila galvalum terekspose di lingkungan lebih lama maka akan terbentuk Al_2O_3 , Al_2O_3 mendominasi seluruh permukaan



dan bereaksi dengan ion klorida yang mengakibatkan kerusakan pada lapisan pasif. Karena komposisi Al pada galvalum ini lebih besar sehingga fase kaya Al menjadi kuat dibandingkan dengan fase kaya Zn sehingga pelepasan Zn lebih banyak.

4.1.3 Hasil Pengujian Weight Loss Immerse pH 7.5

Dari hasil pengujian *weight loss* dapat terlihat pengurangan berat yang terjadi pada spesimen yang direndam selama 10 hari, 20 hari, 30 hari dan diberi beban sebesar 5.5 kgf, 11 kgf, 16.5 kgf beban yield. Dari gambar 4.3 dapat dilihat selisih berat yang bertambah seiring dengan adanya penambahan beban. Semakin lama spesimen uji terekspos pada lingkungan air hujan dengan *pH* 7.5, maka semakin menurun laju korosi yang dihasilkan yang terjadi pada spesimen tersebut. Hal ini terbukti pada 20 dan 30 hari perendaman. Laju korosi spesimen baja galvalum pada *pH* 7.5 terdapat pada gambar 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam Immerse Air Hujan *pH* 7.5



Pada gambar 4.3 adalah grafik dari pengaruh waktu terhadap laju korosi. Semakin lama waktu pengujian, maka laju korosi cenderung turun. Warna biru menandakan laju korosi baja galvalum dengan beban 5%. Warna merah menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 10% beban yield. Warna hijau menunjukkan laju korosi baja galvalum dengan beban 15% beban yield.

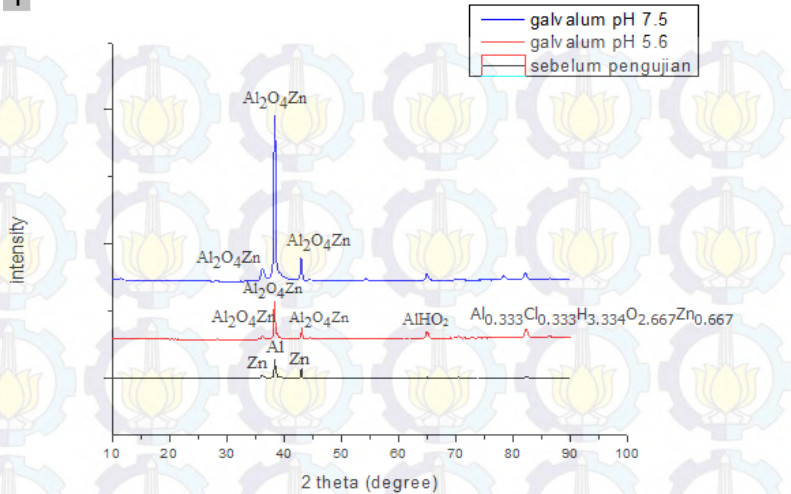
Hasil laju korosi *weight loss* dengan *pH* 7.5 mengalami hasil yang serupa dengan pengujian yg dilakukan pada *pH* 5.6 dengan hasil laju korosi terbesar terdapat pada 10 hari pertama dan cenderung menurun pada hari berikutnya. Semakin spesimen benda uji terekspos pada lingkungan air hujan *pH* 7.5, maka semakin banyak penurunan laju korosi yang terjadi pada spesimen tersebut. Jika Menurut *zhang 2011* hal ini disebabkan karena adanya laju pelepasan Zn lebih besar dibandingkan dengan Al seiring bertambahnya waktu. Karena apabila galvalum terekspose di lingkungan lebih lama maka akan terbentuk Al_2O_3 , Al_2O_3 mendominasi seluruh permukaan dan bereaksi dengan ion klorida yang mengakibatkan kerusakan pada lapisan pasif. Karena komposisi Al pada galvalum ini lebih besar sehingga fase kaya Al menjadi kuat dibandingkan dengan fase kaya Zn sehingga pelepasan Zn lebih banyak.

4.1.5 Hasil Pengujian Analisa Difraksi Sinar – X (XRD)

Pada pengujian XRD dilakukan dengan spesimen baja galvalum sebelum perendaman pada uji *weight loss* dan spesimen setelah perendaman dalam *pH* 5.6 dan *pH* 7.5 selama 30 hari. Dimana hasil pengujian di analisa menggunakan *software* High Score untuk menentukan fasa apa yang terjadi pada baja galvalum dan dihasilkan data XRD sebagai berikut.



1



Gambar 4. 4Hasil XRD Baja Galvalum

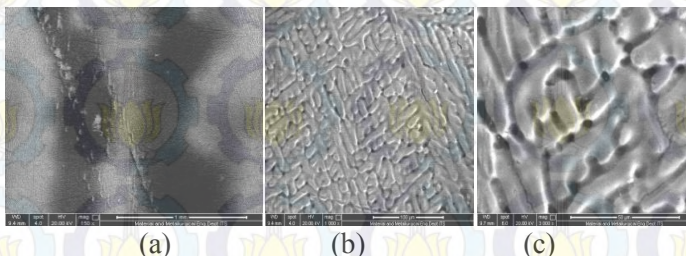
Gambar 4.4 menunjukkan hasil pengujian XRD baja galvalum sebelum dilakukan pengujian weight loss dan setelah pengujian weight loss air hujan pH 5.6 dan pH 7.5 selama 30 hari. Garis warna hitam menunjukkan baja galvalum sebelum pengujian weight loss immerse yaitu berupa senyawa Aluminium (Al) dan Zinc (Zn). Untuk hasil pengujian XRD baja galvalum setelah dilakukan pengkorosian dengan metode weight loss immerse air hujan pH 5.6 selama 30 hari diketahui terdapat senyawa berupa Zinc Aluminium Oxide (Al_2O_4Zn Reference code: 01-070-8207), Zinc Aluminium Oxide (Al_2O_4Zn Reference code: 01-070-8208), Aluminium Hydrate Oxide ($AlHO_2$ Reference code: 01-070-6505), Zinc Aluminum Hydroxide Chloride Hydrate ($Al_{0.333}Cl_{0.333}H_{3.334}O_{2.667}Zn_{0.667}$, Reference code: 01-071-6604. dan untuk hasil pengujian XRD baja galvalum setelah dilakukan pengujian weight loss dalam pH 7.5 selama



30 hari diketahui terdapat senyawa Zinc Aluminium Oxide ($\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$ Reference code: 01-070-8208), Zinc Aluminium Oxide ($\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$ Reference code: 01-070-8207), Zinc Aluminium Oxide ($\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$ Reference code: 01-070-8209), dari ketiga peak tertinggi dalam satu grafik terdapat senyawa yang sama hal ini disebabkan oleh nilai 2 theta yang tidak jauh berbeda kemungkinan untuk muncul senyawa yang sama bisa terjadi dan jumlah senyawa menentukan jumlah peak yang dihasilkan.

4.1.6 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

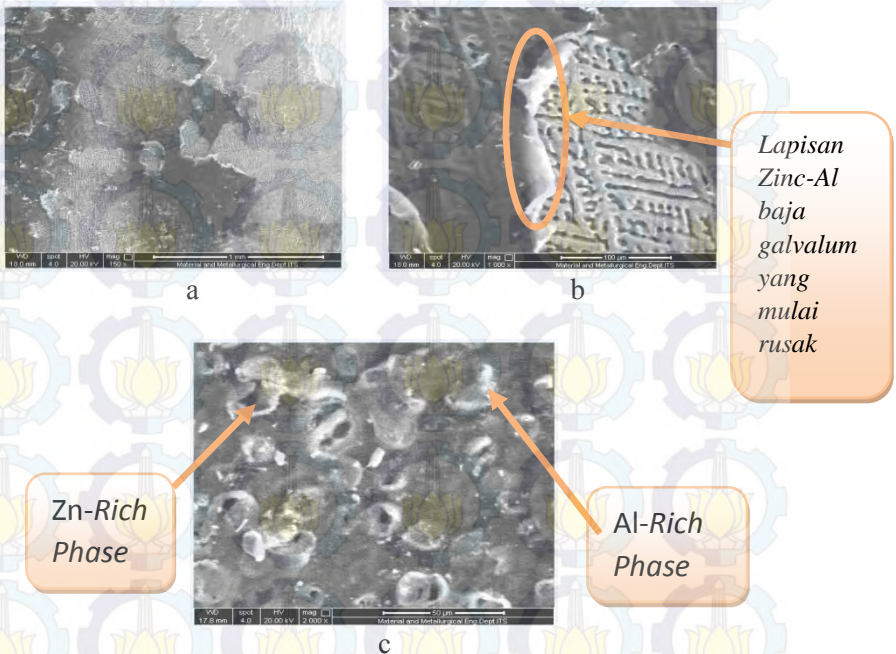
Sampel yang digunakan untuk pengujian SEM adalah baja galvalum sebelum dilakukan pengujian korosi dan sampel baja galvalum setelah dilakukan pengujian weight loss immerse dengan air hujan pH 5.6 dan pH 7.5 yang diberikan beban 16.5 kgf selama 30 hari. Uji SEM ini dilakukan untuk membandingkan morfologi permukaan baja galvalum kondisi awal dengan baja galvalum yang telah dilakukan pengujian korosi sehingga didapatkan morfologi permukaan sampel awal dan sampel yang terkorosi. Gambar 4.5 menunjukkan hasil uji SEM pada sampel baja kondisi awal sebelum pengujian *weight loss* dan setelah pengujian *Weight Loss*.



Gambar 4. 5 Hasil Uji SEM Baja Galvalum (a) Kondisi Awal Tanpa Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 150x; (b) Perbesaran 1000x; (c) Perbesaran 3000x



Pada gambar 4.5a menunjukkan bahwa baja galvalum pada kondisi awal tanpa pengujian *weight loss* permukaan logam rata dan terdapat dua bagian yaitu bagian gelap dan terang. Ketika diperbesar, seperti gambar 4.5b terlihat lapisan rata dengan membentuk lapisan Zinc-Al yang bersifat melindungi baja dari terjadinya korosi. Dan ketika diperbesar gambar 4.5c yaitu perbesaran 3000x terlihat lebih jelas pola area terang yang mendominasi.

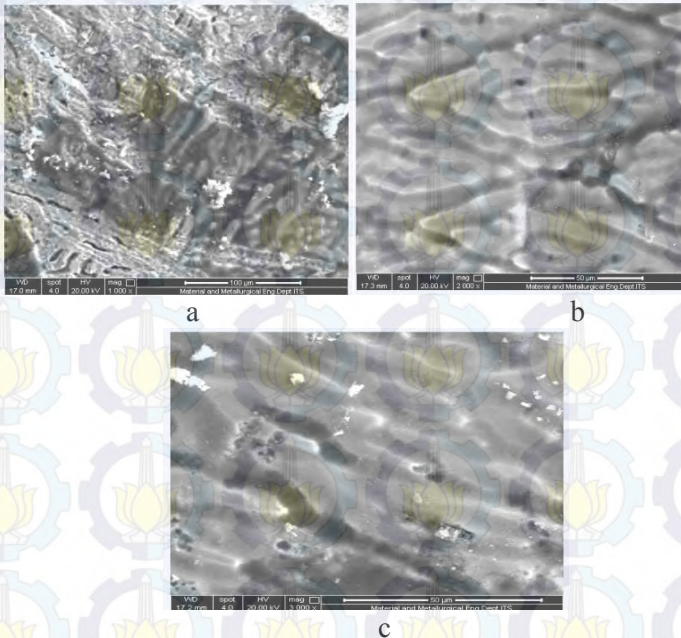


Gambar 4. 6 Hasil Uji SEM Baja Galvalum Air Hujan pH 5.6 (a) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 150x; (b) Perbesaran 1000x. (c) Perbesaran 2000x.

Dari Gambar 4.6a hal ini menunjukkan bahwa diketahui terdapat lapisan pelindung baja galvalum yang mulai rusak dapat ditunjukkan pada gambar 4.6b. Hal ini dapat



terjadi karena adanya pemberian beban pada spesimen baja galvalum yang mengakibatkan terjadinya kerusakan pada lapisan galvalum. Gambar 4.7 yang menunjukkan hasil uji SEM pada air hujan pH 7.5.



Gambar 4. 7 Hasil Uji SEM Baja Galvalum Air Hujan pH 7.5(a) Kondisi Setelah Pengujian *Weight Loss* Perbesaran 1000x; (b) Perbesaran 2000x. (c) Perbesaran 3000x.

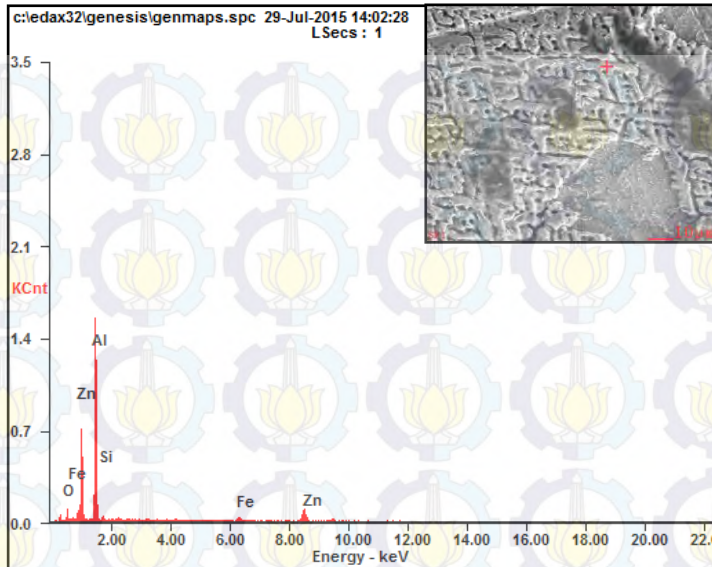
Gambar 4.7a adalah hasil pengujian SEM dengan perbesaran 1000x terlihat lapisan baja galvalum mulai rusak seperti terkikis seiring dengan penambahan beban. Ketika diperbesar 2000 dan 3000x pada gambar 4.7b dan 4.7c dapat terlihat bercak hitam yang merata seperti titik-titik hitam pada permukaan yang terlihat pada gambar diatas.



Untuk lebih memastikan lebih lanjut maka dilakukan uji *EDAX* setelah pengujian SEM untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam baja galvalum dan mengetahui daerah terang dan gelap yang terdapat pada hasil pengujian SEM. Pengujian *EDAX* dilakukan pada spesimen baja galvalum *pH* 5.6 dan baja galvalum *pH* 7.5 selama perendaman 30 hari. Hasil pengujian *EDAX* ini menunjukan daerah gelap dan terang adalah daerah yang kaya aluminium disebabkan komposisi Al lebih dominan jika dibandingkan dengan Zn akan tetapi menurut *Ping Qiu 2012* menyatakan bahwa daerah terang adalah aluminium sedangkan daerah gelap adalah Zinc. Berikut ini adalah hasil pengujian EDX:

Tabel 4. 3 Komposisi unsur penyusun Baja galvalum *pH* 5.6

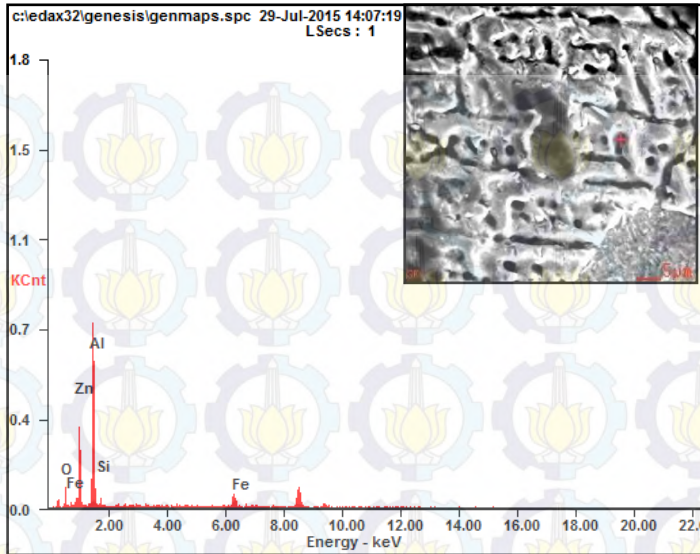
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>Ar%</i>
<i>OK</i>	06.93	12.57
<i>AlK</i>	70.67	75.99
<i>SiK</i>	02.10	02.17
<i>FeK</i>	03.44	01.79
<i>ZnK</i>	16.86	07.48
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



(a)

Tabel 4. 4Komposisi unsur penyusun Baja galvalum *pH 5.6*

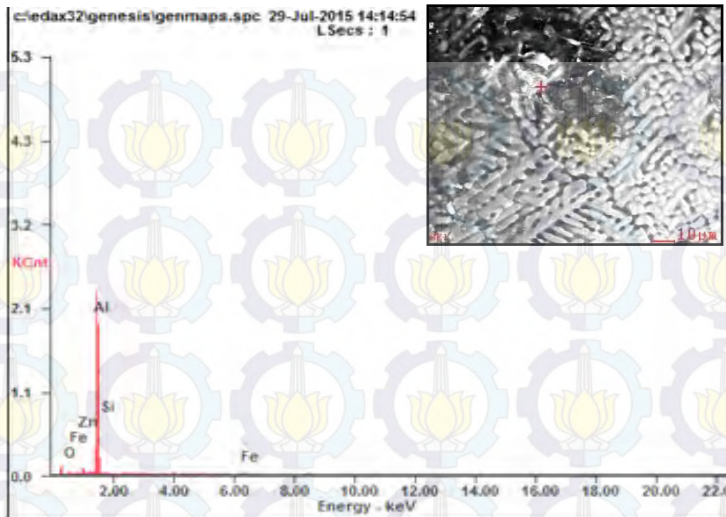
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	08.34	16.59
<i>ZnL</i>	29.99	14.60
<i>AlK</i>	53.17	62.73
<i>SiK</i>	02.16	02.45
<i>FeK</i>	06.35	03.62
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



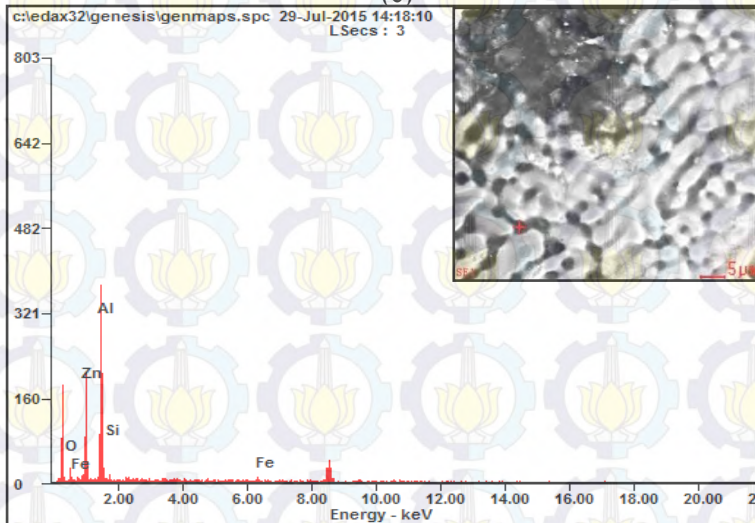
(b)

Gambar 4. 8. (a) Hasil Pengujian SEM-EDAX untuk Baja galvalum *pH* 5.6 Perbesaran 1000x (b) Perbesaran 5000x

Setelah diketahui unsur pada baja galvalum *pH* 5.6 selanjutnya dilakukan pengujian *SEM-EDAX* untuk baja galvalum *pH* 7.5. Berikut ini adalah hasil dari pengujian *EDAX* baja galvalum *pH* 7.5:



(c)



(d)

Gambar 4. 9(c) Hasil Pengujian SEM-EDAX untuk baja galvalum *pH* 7.5 Perbesaran 1000x (d) Perbesaran 5000x

BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Tabel 4. 5 Komposisi unsur penyusun Baja galvalum pH 7.5

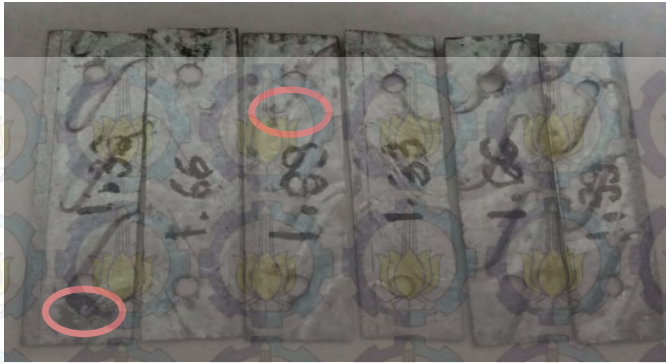
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>	<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	05.33	08.95	<i>OK</i>	07.16	14.22
<i>ZnL</i>	04.41	01.81	<i>ZnL</i>	32.45	15.77
<i>AlK</i>	87.72	87.27	<i>AlK</i>	56.55	66.58
<i>SiK</i>	01.59	01.52	<i>SiK</i>	02.22	02.51
<i>FeK</i>	00.94	00.45	<i>FeK</i>	01.62	00.92
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF	<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

4.1.7 Hasil Pengamatan Visual

Setelah pengujian *weight loss*, dilakukan penimbangan untuk mendapatkan akhir dari hasil pengujian *weight loss*. Setelah penimbangan, dilakukan dokumentasi berupa foto makro dari spesimen baja galvalum. Berikut hasil dari foto makro dari baja galvalum.



(a) Immerse Air hujan 10 Hari pH 5.6 dan 7.5



(b) Immese Air Hujan 20 Hari pH 5.6 dan 7.5



(c) Immerse Air Hujan 30 Hari pH 5.6 dan 7.5

Gambar 4.10 Foto Makro Baja Galvalum. Dari Kiri ke Kanan Spesimen yang diberi Air Hujan dengan pH 5.6 dan 7.5 selama 30 Hari dengan Beban 5.5 kgf, 11 kgf, 16.5 kgf.

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat foto hasil pengujian visual pada baja galvalum, permukaan spesimen baja galvalum yang banyak terdapat bercak hitam ditunjukkan pada perendaman air hujan dengan pH 5.6 dan pada beberapa spesimen terjadi kerusakan lapisan galvalum yang ditunjukkan

BAB IV – ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



pada lingkaran gambar orange. Dan pada perendaman air hujan dengan pH 7.5 terdapat sedikit bercak hitam pada permukaan sampel. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.10a, 4.10b, 4.10c.

4.2 Pembahasan

Pada pengujian uji tarik tidak terdapat batas elastisitas dikarenakan ketebalan spesimen baja galvalum yang sangat tipis dan dapat mempengaruhi hasil kurva pada uji tarik. Dalam pengujian tarik ini masih didapatkan data mentah berupa $\Delta L/P$ yang kemudian dijadikan kurva tegangan regangan. Untuk mendapatkan nilai tegangan yield dilakukan garis linier offset dan didapatkan nilai beban yield sebagai acuan beban yang diterima oleh baja galvalum pada pengujian *weight loss immerse*.

Pada pengujian *weight loss immerse* yang dilakukan pada baja galvalum pH 5.6 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya beban yang diberikan maka laju korosi semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan pada beban 5% menunjukkan nilai laju korosi sebesar 10.514 Mpy, beban 10% sebesar 11.379 Mpy dan beban 15% sebesar 13.775 Mpy pada 10 hari pertamadan untuk pengujian immerse dengan air hujan pH 7.5 dan beban 5% sebesar 13.376 Mpy, beban 10% sebesar 15.173 Mpy dan pada beban 15% sebesar 15.173 Mpy pada 10 hari pertama dan pada 20 dan 30 hari cenderung mengalami penurunan. Akan tetapi dalam hal ini perendaman air hujan pada pH 7.5 nilai laju korosi lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja galvalum dengan air hujan pH 5.6. Dalam hal ini dapat ditunjukkan pada nilai laju korosiyang lebih besar dengan perendaman air hujan dengan pH 7.5 hal ini disebabkan karena kondisi Al yang lebih reaktif dilingkungan basa jika dibandingkan pada lingkungan asam dan menurut jurnal *zhang 2011* disebabkan karena adanya laju pelepasan Zn lebih besar dibandingkan dengan Al seiring bertambahnya waktu. Karena apabila galvalum terekspose di lingkungan



lebih lama maka akan terbentuk Al_2O_3 , Al_2O_3 mendominasi seluruh permukaan dan bereaksi dengan ion klorida yang mengakibatkan kerusakan pada lapisan pasif. Karena komposisi Al pada galvalum ini lebih besar sehingga fase kaya Al menjadi kuat dibandingkan dengan fase kaya Zn sehingga pelepasan Zn lebih banyak karena sebab itulah terjadi penurunan nilai korosi pada 20 dan 30 hari.

Setelah pengujian *weight loss immerse* dapat dilakukan pengujian visual pada spesimen baja galvalum yang telah dilakukan perendaman. Terdapat beberapa bercak hitam pada permukaan spesimen uji dan terjadi pengikisan di beberapa area lubang spesimen.

Pada penelitian ini dilakukan juga uji karakterisasi pada spesimen baja galvalum yaitu pengujian SEM dan EDAX dengan metode spot. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan terdapat 2 area yaitu area terang dan area gelap. Pada spesimen baja galvalum dengan menggunakan air hujan *pH* 5.6 dengan dilakukan perbesaran 150x, 1000x dan 2000x terlihat bahwa terjadinya pengikisan lapisan galvalum yang telah rusak yang disebabkan karena adanya pemberian beban yang menyebabkan terkikisnya baja galvalum. Pada spesimen baja galvalum pada *pH* 7.5 terlihat kerusakan yang sama seperti yang terjadi pada hasil *pH* 5.6 dan terlihat area gelap dan area terang dan untuk lebih memastikan unsur apa saja yang terkandung dalam baja galvalum dan untuk mengetahui lebih lanjut area gelap dan terang maka dilakukan pengujian EDAX dapat terlihat bahwa kedua area menunjukkan area gelap dan area terang adalah aluminium hal ini dapat disebabkan bahwa komposisi Al pada paduan ini lebih dominan jika dibandingkan dengan seng.

Pada penelitian ini digunakan pengujian XRD untuk mengetahui senyawa hasil produk korosi yang terbentuk pada baja galvalum dengan menggunakan air hujan *pH* 5.6 dan *pH* 7.5. Pada spesimen awal dengan tanpa perlakuan teridentifikasi unsure aluminium dan seng dimana persentase



aluminium lebih tinggi dibandingkan dengan seng. Dan setelah perendaman pada spesimen baja galvalum dengan menggunakan air hujan pH 5.6 terbentuk senyawa produk korosi $AlHO_2$, Al_2O_4Zn , $Al_{0.333}Cl_{0.333}H_{3.334}O_{2.667}Zn_{0.667}$. Sedangkan pada spesimen baja galvalum dengan menggunakan air hujan pH 5.6 terbentuk senyawa produk korosi Al_2O_4Zn . Meski aluminium memiliki potensial lebih tinggi dibandingkan seng. Aluminium akan bereaksi dengan lingkungan karena terjadi presentase aluminium yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan terbentuknya lapisan pasif pada Al_2O_4Zn hasil dari aluminium yang bereaksi dengan oksigen



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

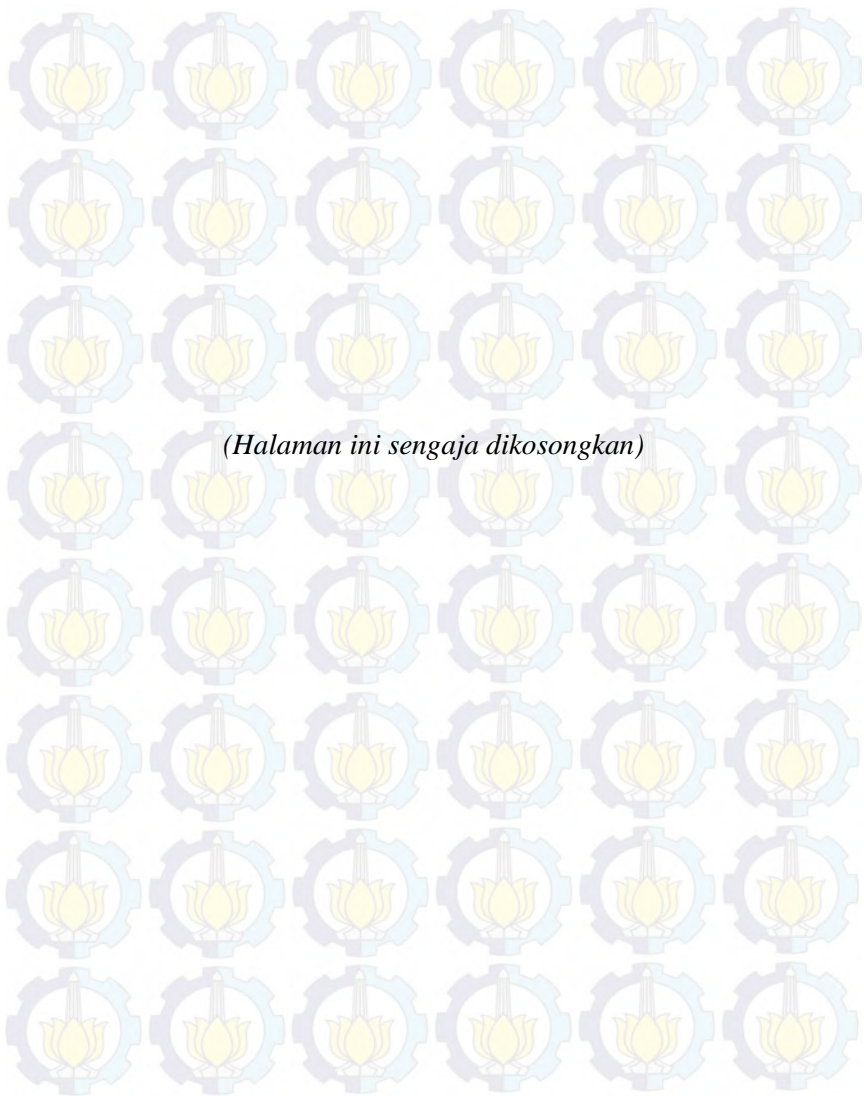
Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar pembebanan pada baja galvalum, semakin besar pula laju korosinya. Hal ini dapat dibuktikan dalam pengujian weight loss immerse.
2. Tren laju korosi terbesar terjadi pada 10 hari perendaman pertama karena adanya pengaruh pembebanan yang dapat meningkatkan laju korosi dan hari selanjutnya cenderung menurun.
3. Hasil penelitian laju korosi dengan lingkungan air hujan *pH 5.6* dan *pH 7.5* dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan Air Hujan *pH 5.6* lebih rendah laju korosi yang dihasilkan jika dibandingkan dengan air hujan *pH 7.5*

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu adanya pengujian komposisi air hujan untuk mengetahui unsur apa saja yang terkandung dalam air hujan yang digunakan.
2. Desain untuk pemberian beban pada spesimen perlu disempurnakan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

AGA . 2010. "Performance of hot-dip galvanized steel product : In the atmosphere, soil, water, concrete, and more". Amerika. American Galvanizers Association.

ASM Handbook Volume 13 A. 2003. "Corrosion: fundamentals, testing, and protection." USA. ASM International.

Budi, Utomo. 2009. "Jenis Korosi dan Penanggulangannya", Program Diploma III Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro, Semarang.

Departemen Pekerjaan Umum, 1983. "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung". Bandung :Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.

D. Persson, D. Thierry, N. LeBozec. 2011. "Corrosion product formation on Zn55Al coated steel upon exposure in a marine atmosphere", Corros. Sci. 53 720-726.

Elsner, C. I., P. R. Ser'e, A. R. Di Sarli. 2011. "Atmospheric corrosion of painted galvanized and 55%al-zn steel sheets: results of 12 years of

exposure". Argentina. Hindawi Publishing Corporation.

E. Palma, J. M. Puente, M. Morcillo.1998. "The atmospheric corrosion mechanism of 55%Al-Zn coating on steel,"Corros. Sci. 4061-68.

Indian Institut of Technology. 2007. "Solid Mechanics". India

Jones, Denny. 1992. "Principles and prevention of corrosion". New York. Macmillan Publishing Company.

Khurmi, R.S., J.K. Gupta, S.Chand. 2005."Textbook of Machine Design". India. S Chand & Co Ltd.

Lijing Yang, Yangming Zhang. 2012. "Corrosion behavior of superplastic Zn-Al alloys in simulated acid rain". China. ScienceDirect.

M. Fajar Sidiq. 2013. "Analisa Korosi Dan Pengendalian"Slawi. Akademi Perikanan Baruna Slawi.

Ogle, M. K. 2012."Selective dissolution from Zn-Al alloy coatings on steel". France. Université Pierre & Marie Curie

Ping Qju, Christofer Leygraf, Inger Odnevall Wallinder. 2012. "Evolution of corrosion products and metal release from galvalum coatings on steel during short and long-term atmospheric exposures".Sweden. ScienceDirect.

Putra. 2009. "Makalah seng dan paduannya".

Shuan. Liu. 2013. "Improving the sink roll life in galvalum using material AT10".Dept. of Mechanical Eengg. YCCE. Nagpur, India.

Suryono. 2007. "Rangkuman peraturan pembebanan indonesia untuk gedung-1983". Semarang.

Xian Zhang. 2012. "The initial release of zinc and aluminum from non-treated Galvalume and theformation of corrosion products in chloride containing media".Sweden. ScienceDirect.

Yuliana. 2009. "Aluminium murni dan paduannya". IPB. Bogor

Zhang, Xian. 2014."Atmospheric corrosion of zinc-aluminum and copper-based alloys in chloride-rich environments. -Microstructure, corrosion initiation, patina evolution and metal release". Sweden. KTH Royal Institute of Technology

ZAC North American and European Validation.

2005.“Projected to give 40+years life without major maintenance roofs in bare 55% al-zn coated steel”. USA. ZAC Association.



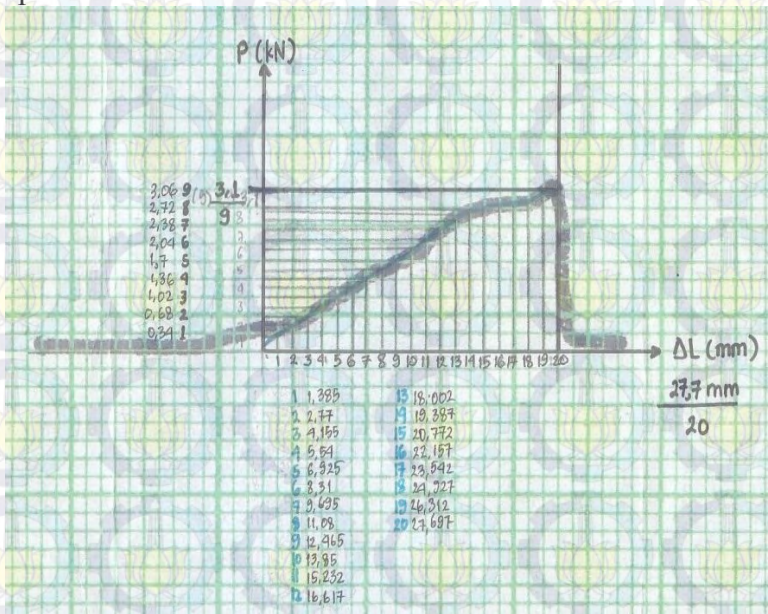
LAMPIRAN A

Hasil Pengujian Uji Tarik

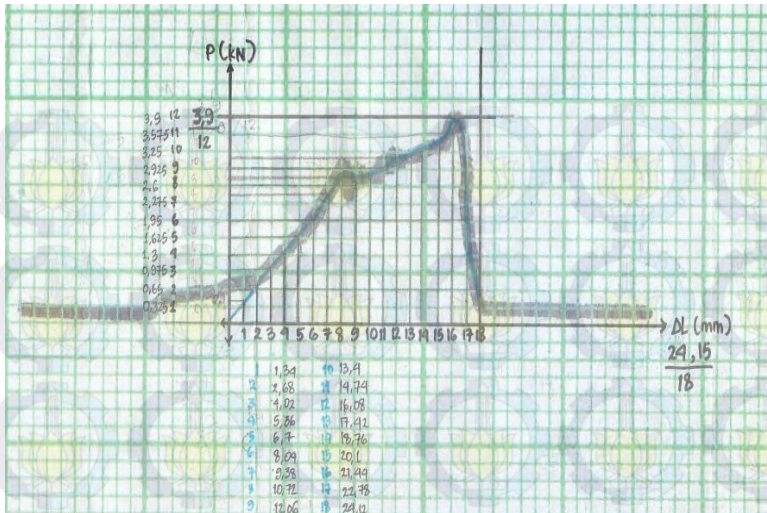
ASTM E 8M-03

BAJA GALVALUM		SPESIMEN KE:	
		I	II
A.	DIMENSI SPESIMEN		
	Tebal, t_0 (mm)	0,2	0,2
	Lebar, w_0 (mm)	22,80	27,65
	Luas Penampang, A_0 (mm ²)	4,56	5,53
	Gauge Length, L_0 (mm)	50	50
B.	HASIL PENGUJIAN		
	Beban Maksimum (kN)	3,1	3,9
	Gauge Length Setelah Patah, L_1 (mm)	50,50	51,80

Spesimen 1



Spesimen 2



Hasil Pengujian Tarik
Spesimen 1

delta L	P	teg	reg
0	0	0	0
1,38	0,34	0,074	0,027
2,77	0,5	0,109	0,055
4,15	0,68	0,149	0,083
5,54	0,85	0,186	0,110
6,92	1,02	0,223	0,138
8,31	1,19	0,261	0,166
9,69	1,36	0,298	0,193
11,08	1,53	0,335	0,221
12,46	1,7	0,372	0,249
13,85	1,93	0,423	0,277
15,23	2,1	0,460	0,304
16,61	2,2	0,482	0,332
18	2,4	0,526	0,36
19,38	2,6	0,570	0,387

20,77	2,72	0,596	0,415
22,15	2,8	0,614	0,443
23,54	2,85	0,625	0,470
24,92	2,9	0,636	0,498
26,31	3	0,657	0,526
27,69	3	0,657	0,553

Spesimen 2

delta L	P	teg	reg
0	0	0	0
1,34	0,4	0,072	0,026
2,68	0,65	0,117	0,053
4,02	0,975	0,176	0,080
5,36	1,3	0,235	0,107
6,7	1,625	0,293	0,134
8,04	1,95	0,352	0,160
9,38	2,4375	0,440	0,187
10,72	2,7625	0,499	0,214
12,06	2,6	0,470	0,241
13,4	2,7625	0,499	0,268
14,74	2,925	0,528	0,294
16,08	3,0875	0,558	0,321
17,42	3,125	0,565	0,348
18,76	3,25	0,587	0,375
20,1	3,4125	0,617	0,402
21,44	3,575	0,646	0,428
22,78	1,95	0,352	0,455
24,12	0,65	0,117	0,482

LAMPIRAN B

Hasil Pengujian Weight Loss Immerse

ASTM G1-03

Rumus perhitungan laju korosi

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T}$$

dimana

CR : laju korosi (mpy)

K : konstanta laju korosi (untuk mpy=3,45.10⁶)

W : *weight loss* (gram)

D : densitas

A : luas permukaan

T : waktu (jam)

Spesimen Baja Galvalum dengan Air Hujan *pH* 5.6 pada 10 hari

Pmax	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih Berat	K	D	A	T	K.W	D.A.T	Laju Korosi
5%	0.6303	0.6233	0.007	3450000	2.7	4	240	24150	2592	9.317
5%	0.616	0.6072	0.0088	3450000	2.7	4	240	30360	2592	11.712
10%	0.6046	0.5963	0.0083	3450000	2.7	4	240	28635	2592	11.047
10%	0.6321	0.6233	0.0088	3450000	2.7	4	240	30360	2592	11.712
15%	0.631	0.6226	0.0084	3450000	2.7	4	240	28980	2592	11.180
15%	0.6305	0.6182	0.0123	3450000	2.7	4	240	42435	2592	16.371

Spesimen Baja Galvalum dengan Air Hujan *pH* 5.6 pada 20 hari

Pmax	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih Berat	K	D	A	T	K.W	D.A.T	Laju Korosi
5%	0.6547	0.6414	0.0133	3450000	2.7	4	480	45885	5184	8.851
5%	0.6145	0.6014	0.0131	3450000	2.7	4	480	45195	5184	8.718
10%	0.6231	0.6131	0.01	3450000	2.7	4	480	34500	5184	6.655
10%	0.6503	0.638	0.0123	3450000	2.7	4	480	42435	5184	8.185
15%	0.6572	0.6448	0.0124	3450000	2.7	4	480	42780	5184	8.252
15%	0.6213	0.6072	0.0141	3450000	2.7	4	480	48645	5184	9.383

Spesimen Baja Galvalum dengan Air Hujan *pH* 5.6 pada 30 hari

Pmax	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih Berat	K	D	A	T	K.W	D.A.T	Laju Korosi
5%	0.6578	0.6439	0.0139	3450000	2.7	4	720	47955	7776	6.167
5%	0.6213	0.6071	0.0142	3450000	2.7	4	720	48990	7776	6.300
10%	0.6176	0.5989	0.0187	3450000	2.7	4	720	64515	7776	8.296
10%	0.6105	0.5934	0.0171	3450000	2.7	4	720	58995	7776	7.586
15%	0.6293	0.6124	0.0169	3450000	2.7	4	720	58305	7776	7.498
15%	0.6573	0.633	0.0243	3450000	2.7	4	720	83835	7776	10.781

Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Immerse* Air Hujan pH 5.6

Beban (%Pmax)	Waktu		
	10 hari	20 hari	30 hari
5%	9.317	8.851	6.167
5%	11.712	8.718	6.300
Rata-Rata	10.514	8.784	6.233
10%	11.047	6.655	8.296
10%	11.712	8.185	7.586
Rata-Rata	11.379	7.420	7.941
15%	11.180	8.252	7.498
15%	16.371	9.383	10.781
Rata-Rata	13.775	8.817	9.139

Spesimen Baja Galvalum dengan Air Hujan *pH* 7.5 pada 10 hari

Pmax	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih Berat	K	D	A	T	K.W	D.A.T	Laju Korosi
5%	0.6295	0.618	0.0115	3450000	2.7	4	240	39675	2592	15.306
5%	0.6504	0.6418	0.0086	3450000	2.7	4	240	29670	2592	11.446
10%	0.6503	0.6384	0.0119	3450000	2.7	4	240	41055	2592	15.839
10%	0.6872	0.6763	0.0109	3450000	2.7	4	240	37605	2592	14.508
15%	0.6357	0.6241	0.0116	3450000	2.7	4	240	40020	2592	15.439
15%	0.6664	0.6552	0.0112	3450000	2.7	4	240	38640	2592	14.907

Spesimen Baja Galvalum dengan Air Hujan *pH* 7.5 pada 20 hari

Pmax	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih Berat	K	D	A	T	K.W	D.A.T	Laju Korosi
5%	0.6439	0.6319	0.012	3450000	2.7	4	480	41400	5184	7.986
5%	0.6593	0.6478	0.0115	3450000	2.7	4	480	39675	5184	7.653
10%	0.6554	0.6407	0.0147	3450000	2.7	4	480	50715	5184	9.782
10%	0.7054	0.6904	0.015	3450000	2.7	4	480	51750	5184	9.982
15%	0.6055	0.5955	0.01	3450000	2.7	4	480	34500	5184	6.655
15%	0.6305	0.6203	0.0102	3450000	2.7	4	480	35190	5184	6.788

Spesimen Baja Galvalum dengan Air Hujan *pH* 7.5 pada 30 hari

Pmax	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih Berat	K	D	A	T	K.W	D.A.T	Laju Korosi
5%	0.6375	0.6186	0.0189	3450000	2.7	4	720	65205	7776	8.385
5%	0.612	0.5952	0.0168	3450000	2.7	4	720	57960	7776	7.453
10%	0.6394	0.6234	0.016	3450000	2.7	4	720	55200	7776	7.098
10%	0.6073	0.59	0.0173	3450000	2.7	4	720	59685	7776	7.675
15%	0.6085	0.5882	0.0203	3450000	2.7	4	720	70035	7776	9.006
15%	0.6499	0.6388	0.0111	3450000	2.7	4	720	38295	7776	4.924

**Beban Terhadap Laju Korosi (Mpy) dalam *Immerse* Air
Hujan 7.5**

Beban (% Pmax)	Waktu		
	10 hari	20 hari	30 hari
5%	15.306	7.986	8.385
5%	11.446	7.653	7.453
Rata-Rata	13.376	7.819	7.919
10%	15.839	9.782	7.098
10%	14.508	9.982	7.675
Rata-Rata	15.173	9.882	7.386
15%	15.439	6.655	9.006
15%	14.907	6.788	4.924
Rata-Rata	15.173	6.721	6.965

LAMPIRAN C

Hasil Pengujian Polarisasi

Larutan	Spesime n	-Ecorr (V)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
Air Hujan pH 5.6	1	1.055	12.123
	2	1.067	26.465
	3	1.074	30.900
Air Hujan pH 7.5	1	1.066	59.597
	2	1.207	94.272
	3	1.223	111.020

Perhitungan Laju Korosi

$$CR = \frac{K \cdot i_{corr} \cdot EW}{\rho}$$

dimana

CR : Laju Korosi (mm/year) untuk i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

K : $3,27 \cdot 10^{-3}$ (mm/year) atau (mm.g/ μAcm)

i_{corr} : Rapat Arus Saat E_{corr} $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (*exchange current density*)

ρ : *Density* (g/cm^3)

EW : *Equivalent Weight* (Berat Ekuivalen)

ASTM G 102	Aluminium
EW (g)	8,99
ρ (g/cm^3)	2,7

Spesimen baja galvalum dengan air hujan pH 5.6

Spesimen 1

$$CR = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mm/year} \times 12.123 \mu\text{A/cm}^2 \times 8,99 \text{ g}}{2,7 \text{ g/cm}^3} \\ = 0,1319 \text{ mm/yr}$$

Spesimen 2

$$CR = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mm/year} \times 26.465 \mu\text{A/cm}^2 \times 8,99 \text{ g}}{2,7 \text{ g/cm}^3} \\ = 0,2881 \text{ mm/yr}$$

Spesimen 3

$$CR = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mm/year} \times 30.900 \mu\text{A/cm}^2 \times 8,99 \text{ g}}{2,7 \text{ g/cm}^3} \\ = 0,3364 \text{ mm/yr}$$

Spesimen baja galvalum dengan air hujan pH 7.5

Spesimen 1

$$CR = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mm/year} \times 59.597 \mu\text{A/cm}^2 \times 8,99 \text{ g}}{2,7 \text{ g/cm}^3} \\ = 0,6488 \text{ mm/yr}$$

Spesimen 2

$$CR = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mm/year} \times 94.272 \mu\text{A/cm}^2 \times 8,99 \text{ g}}{2,7 \text{ g/cm}^3} = 1.026 \text{ mm/yr}$$

Spesimen 3

$$CR = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \text{ mm/year} \times 111.020 \mu\text{A/cm}^2 \times 8,99 \text{ g}}{2,7 \text{ g/cm}^3} = 1.2087 \text{ mm/yr}$$

LAMPIRAN D

Hasil Pengujian *XRD*

Spesimen baja galvalum dengan air hujan *pH* 5.6

Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.2484	218.90	0.8029	7.86645	1.30
28.3036	248.63	0.1338	3.15322	1.47
36.1702	1783.86	0.0836	2.48345	10.58
38.3168	16867.43	0.2040	2.34718	100.00
38.4075	13527.55	0.0612	2.34766	80.20
38.8546	2720.02	0.0816	2.31592	16.13
41.8888	181.18	0.3264	2.15491	1.07
42.9501	2733.79	0.0612	2.10409	16.21
43.0788	4956.19	0.0816	2.09810	29.38
44.5200	696.62	0.1632	2.03347	4.13
47.0224	49.79	0.9792	1.93092	0.30

54.2014	525.29	0.1224	1.69090	3.11
64.9197	3152.48	0.3060	1.43523	18.69
65.0801	2600.30	0.1632	1.43564	15.42
69.9414	472.55	0.2448	1.34396	2.80
70.4747	924.97	0.2040	1.33509	5.48
78.2865	281.09	0.4896	1.22025	1.67
82.1427	3377.76	0.1632	1.17245	20.03
82.4308	3046.02	0.1632	1.16908	18.06
86.3794	649.41	0.2448	1.12548	3.85

PDF CARD

$\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$

Reference code: 01-070-8207

Peak List

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.49760	19.723	3.1
2	2	2	0	2.75420	32.482	75.8
3	3	1	1	2.34880	38.289	100.0
4	2	2	2	2.24880	40.063	0.3
5	4	0	0	1.94750	46.598	5.4
6	3	3	1	1.78720	51.063	7.1
7	4	2	2	1.59010	57.951	18.9
8	5	1	1	1.49920	61.836	32.3
9	4	4	0	1.37710	68.024	33.7

10	5	3	1	1.31680	71.603	0.5
11	4	4	2	1.29830	72.785	0.1
12	6	2	0	1.23170	77.422	5.2
13	5	3	3	1.18800	80.842	6.6
14	6	2	2	1.17440	81.977	0.3
15	4	4	4	1.12440	86.483	0.3
16	7	1	1	1.09080	89.850	0.6
17	6	4	2	1.04100	95.456	6.1
18	7	3	1	1.01420	98.843	8.4
19	8	0	0	0.97380	104.563	3.2
20	7	3	3	0.95170	108.073	0.7
21	6	4	4	0.94470	109.252	0.1
22	8	2	2	0.91810	114.073	2.9
23	7	5	1	0.89950	117.822	5.3
24	6	6	2	0.89360	119.088	0.2
25	8	4	0	0.87090	124.377	0.3
26	7	5	3	0.85510	128.535	0.3
27	8	4	2	0.85000	129.980	0.1
28	6	6	4	0.83040	136.135	0.8
29	9	3	1	0.81660	141.227	4.7

PDF CARD

$\text{Al}_{0.333}\text{Cl}_{0.333}\text{H}_{3.334}\text{O}_{2.667}\text{Zn}_{0.667}$

Reference code: 01-071-6604

Peak List

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	3	7.82330	11.301	100.0
2	0	0	6	3.91170	22.714	38.2
3	1	0	1	2.65370	33.749	2.5
4	0	1	2	2.60420	34.410	27.4
5	0	0	9	2.60420	34.410	27.4
6	1	0	4	2.43080	36.950	5.0
7	0	1	5	2.32140	38.759	20.9
8	1	0	7	2.08900	43.276	1.8

9	0	1	8	1.97500	45.912	22.3
10	0	0	12	1.95580	46.389	1.8
11	1	0	10	1.76300	51.816	7.4
12	0	1	11	1.66700	55.044	4.8
13	0	0	15	1.56470	58.984	0.1
14	1	1	0	1.54200	59.940	5.7
15	1	1	3	1.51290	61.215	9.8
16	1	0	13	1.49570	61.996	3.7
17	1	1	6	1.43460	64.952	3.1
18	0	1	14	1.41990	65.708	2.1
19	0	2	1	1.33320	70.589	0.9
20	1	1	9	1.32730	70.950	2.1
21	2	0	2	1.32730	70.950	2.1
22	0	0	18	1.30390	72.423	1.0
23	1	0	16	1.28570	73.615	3.6
24	2	0	5	1.28440	73.702	3.3
25	0	2	7	1.24060	76.765	0.7
26	0	1	17	1.22640	77.820	0.2
27	2	0	8	1.21540	78.660	1.6
28	1	1	12	1.21090	79.009	0.4
29	0	2	10	1.16070	83.158	0.6
30	2	0	11	1.13200	85.762	1.3
31	1	0	19	1.12120	86.791	0.7
32	0	0	21	1.11760	87.141	0.2
33	1	1	15	1.09830	89.072	0.8
34	0	1	20	1.07360	91.696	1.2
35	0	2	13	1.07360	91.696	1.2
36	2	0	14	1.04450	95.035	0.3
37	2	1	1	1.00850	99.602	0.5
38	1	2	2	1.00580	99.967	0.6
39	1	1	18	0.99570	101.361	0.8
40	2	1	4	0.99570	101.361	0.8
41	1	0	22	0.99070	102.070	0.4
42	0	2	16	0.98690	102.617	1.7
43	1	2	5	0.98690	102.617	1.7
44	0	0	24	0.97790	103.944	0.4
45	2	1	7	0.96660	105.673	0.5
46	2	0	17	0.95990	106.735	0.2
47	1	2	8	0.95450	107.611	1.1

Spesimen baja galvalum dengan air hujan *pH* 7.5

Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.4499	579.95	0.4015	7.72842	0.67
28.2267	313.63	0.1673	3.16164	0.36
34.5060	235.89	0.2676	2.59932	0.27
36.0803	4972.20	0.1673	2.48943	5.77
38.2480	55617.78	0.0816	2.35124	64.53
38.4032	86182.92	0.1224	2.34209	100.00
38.5199	49882.91	0.0816	2.34107	57.88
39.3974	2836.00	0.4080	2.28525	3.29
42.9687	9718.85	0.1020	2.10322	11.28
43.0365	9263.98	0.0816	2.10007	10.75
44.4572	692.29	0.2856	2.03620	0.80
47.0159	87.75	0.9792	1.93117	0.10
54.1615	1175.38	0.1632	1.69205	1.36
64.8260	2595.87	0.2040	1.43708	3.01

65.0229	2522.01	0.1632	1.43320	2.93
70.0558	690.75	0.3264	1.34204	0.80
70.4923	609.86	0.3264	1.33480	0.71
78.2686	1570.93	0.2856	1.22049	1.82
78.5208	1413.20	0.2448	1.21720	1.64
81.9825	2409.82	0.1632	1.17434	2.80
82.1348	2783.68	0.1632	1.17254	3.23
86.4403	482.51	0.2856	1.12485	0.56

PDF CARD

$\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$

Reference code: 01-070-8209

Peak List

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.47170	19.839	3.2
2	2	2	0	2.73830	32.676	75.0
3	3	1	1	2.33530	38.519	100.0
4	2	2	2	2.23580	40.306	0.3
5	4	0	0	1.93630	46.884	5.3
6	3	3	1	1.77690	51.381	7.1
7	4	2	2	1.58100	58.316	18.7
8	5	1	1	1.49060	62.232	31.9
9	4	4	0	1.36920	68.470	33.7
10	5	3	1	1.30920	72.083	0.5
11	4	4	2	1.29090	73.270	0.1
12	6	2	0	1.22460	77.956	5.2

13	5	3	3	1.18110	81.414	6.5
14	6	2	2	1.16760	82.558	0.3
15	4	4	4	1.11790	87.111	0.4
16	7	1	1	1.08450	90.516	0.6
17	6	4	2	1.03500	96.190	6.1
18	7	3	1	1.00830	99.629	8.4
19	8	0	0	0.96820	105.424	3.2
20	7	3	3	0.94620	108.997	0.7
21	6	4	4	0.93920	110.203	0.1
22	8	2	2	0.91280	115.106	2.9
23	7	5	1	0.89430	118.936	5.3
24	6	6	2	0.88840	120.239	0.2
25	8	4	0	0.86590	125.645	0.3
26	9	1	1	0.85010	129.951	0.4
27	8	4	2	0.84510	131.424	0.1
28	6	6	4	0.82560	137.821	0.9
29	9	3	1	0.81190	143.159	4.7

PDF CARD

$\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$

Reference code: 01-070-8207

Peak List

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.49760	19.723	3.1
2	2	2	0	2.75420	32.482	75.8
3	3	1	1	2.34880	38.289	100.0
4	2	2	2	2.24880	40.063	0.3
5	4	0	0	1.94750	46.598	5.4
6	3	3	1	1.78720	51.063	7.1
7	4	2	2	1.59010	57.951	18.9
8	5	1	1	1.49920	61.836	32.3
9	4	4	0	1.37710	68.024	33.7
10	5	3	1	1.31680	71.603	0.5
11	4	4	2	1.29830	72.785	0.1

12	6	2	0	1.23170	77.422	5.2
13	5	3	3	1.18800	80.842	6.6
14	6	2	2	1.17440	81.977	0.3
15	4	4	4	1.12440	86.483	0.3
16	7	1	1	1.09080	89.850	0.6
17	6	4	2	1.04100	95.456	6.1
18	7	3	1	1.01420	98.843	8.4
19	8	0	0	0.97380	104.563	3.2
20	7	3	3	0.95170	108.073	0.7
21	6	4	4	0.94470	109.252	0.1
22	8	2	2	0.91810	114.073	2.9
23	7	5	1	0.89950	117.822	5.3
24	6	6	2	0.89360	119.088	0.2
25	8	4	0	0.87090	124.377	0.3
26	7	5	3	0.85510	128.535	0.3
27	8	4	2	0.85000	129.980	0.1
28	6	6	4	0.83040	136.135	0.8
29	9	3	1	0.81660	141.227	4.7

PDF CARD

$\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$

Reference code: 01-070-8208

Peak List

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.48140	19.795	3.1
2	2	2	0	2.74430	32.603	76.1
3	3	1	1	2.34030	38.434	100.0
4	2	2	2	2.24070	40.214	0.3
5	4	0	0	1.94050	46.776	5.3
6	3	3	1	1.78070	51.263	7.2
7	4	2	2	1.58440	58.179	18.9
8	5	1	1	1.49380	62.084	32.3
9	4	4	0	1.37210	68.306	33.9
10	5	3	1	1.31200	71.906	0.5
11	4	4	2	1.29370	73.086	0.1
12	6	2	0	1.22730	77.752	5.2

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Anissa Febri Dwi Yanti dan lahir di Bandung pada bulan Februari 1994. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Gatot Rusliwandi dan Nani Rivani. Penulis melakukan studi formal bermulai dari SDN Andir 1 Bandung, SMPN Angkasa Bandung, SMAN Angkasa Bandung, dan sampai sekarang pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN. Pada tahun 2011-2013, penulis aktif dalam organisasi himpunan mahasiswa jurusan dan dilanjutkan pada tahun 2012-2013 penulis menjadi staff Pengabdian Masyarakat dan dilanjutkan dengan menjadi sekretaris departemen Media Informasi. Penulis melakukan kerja praktek pada PT Dirgantara Indonesia dimana merupakan perusahaan pembuatan pesawat terbang yang berada di kota Bandung. Penulis mengambil studi mengenai tugas akhir penulis pada bidang korosi dan kegagalan material pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis memiliki email dan nomor handphone yang dapat dihubungi yaitu nisa_febriyanti@yahoo.com 081809557843.